

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ростовский государственный строительный университет»**

На правах рукописи

Хмелевцов Андрей Андреевич

**Инженерно-геологические свойства аргиллитоподобных глин сочинской
свиты и их влияние на условия строительства в городе Сочи**

**Специальность 25.00.08 –
"Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение"**

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель
доктор геолого-минералогических наук,
заслуженный деятель наук РСФСР,
лауреат премии Правительства РФ за 2010г.,
профессор Ананьев Всеволод Петрович

Ростов-на-Дону
2014 г.

Оглавление

Введение

Объект исследования.....	4
Актуальность работы.....	4
Цели работы.....	6
Задачи работы.....	6
Информационная база исследований.....	7
Научная новизна.....	8
Основные защищаемые положения.....	9
Методика исследований и достоверность результатов работы.....	9
Апробация и практическая значимость результатов исследований.	10
Структура и объём работы.....	11
1. Геологическое строение района исследований.....	12
1.1. История геологического развития	12
1.2. Литологическое строение района.....	14
1.3. Тектоническое строение района	23
2. Условия формирования и распространение аргиллитоподобных глин.	26
2.1. Условия формирования аргиллитоподобных глин.....	26
2.2. Распространение аргиллитоподобных глин в пределах района исследований.....	38
3. Результаты исследований аргиллитоподобных глин.....	42
3.1. Минералогический состав по результатам рентгенографического анализа.....	42
3.2. Физические характеристики.....	49
3.3. Физико-химические и механические свойства.....	56
3.3.1. Исследование прочностных характеристик	56
3.3.2. Изменение давления набухания после повторения циклов набухания и усадки.....	64
3.3.3. Зависимость изменения скорости прохождения ультразвуковых волн от влажности и величины набухания.....	70
3.3.4. Зависимость величины набухания от вертикальной нагрузки во времени.....	77
3.3.5. Изменение деформационных свойств при циклическом набухании.....	81
3.3.6. Сопротивление одноосному сжатию.....	84
3.4. Микроструктурные и макроструктурные исследования аргиллитоподобных глин.....	84

3.4.1. Изучение строения с помощью рентгеновского компьютерного микротомографа.....	85
3.4.2. Результаты микроструктурных исследований с помощью растрового электронного микроскопа.....	90
3.4.3. Выявление макроструктурных особенностей с помощью размывания поверхности образца.....	102
3.5. Рекомендации к проведению лабораторных исследований аргиллитоподобных глин.....	103
4. Аргиллитоподобные глины в природном массиве и при нарушении их естественного сложения. Рекомендации при строительном освоении..	106
4.1. Аргиллитоподобные глины в природном массиве.....	106
4.2. Прогноз поведения аргиллитоподобных глин при вскрытии и увлажнении.....	114
4.3. Рекомендации по проведению строительных работ в местах распространения аргиллитоподобных глин.....	119
5. Влияние специфических свойств аргиллитоподобных глин при нарушении их естественного сложения и гидратации на условия строительства в районе г. Сочи.....	124
Выводы по результатам исследований.....	144
Список литературы.....	147

ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследований являются аргиллитоподобные глины позднепалеогенового возраста сочинской свиты (Pg₃sĉ), приуроченные к структурно-фациальной зоне сочи-адлерской депрессии. Исследуемые грунты широко распространены на территории г. Большой Сочи и залегают в виде слоистой флишевой толщи с прослоями песчаников, аргиллитов и алевролитов небольшой мощности (от 0,05 до 1,5-2,0 м). Общая мощность толщи в отдельных районах достигает 800 метров. Характерной особенностью аргиллитоподобных глин является то, что в естественном залегании они по плотности и прочности близки к скальным грунтам, но при нарушении условий естественного залегания (вскрытии) происходит процесс разуплотнения с образованием системы разноориентированных трещин, при замачивании глины набухают и размокают до состояния глинистого грунта с низкими значениями плотности, низкой несущей способностью и устойчивостью.

Актуальность работы.

Решение о проведении зимних Олимпийских игр в Сочи в феврале 2014 года было принято в июле 2007 года во время 119-й сессии МОК в городе Гватемала. Это решение дало старт грандиозному строительству, которое развернулось не только в самом городе, но и за его пределами. Перед инженерами России и зарубежья стояла задача в кратчайшие сроки и максимально качественно возвести десятки уникальных сооружений, улучшить инфраструктуру города за счет расширения существующих дорог и строительства новых транспортных артерий, многоуровневых развязок и тоннелей. Были применены новейшие технологии при проведении инженерно-геологических изысканий, уникальные конструктивные решения в строительстве, с учетом сложного геологического строения территории и сильной расчлененностью рельефа.

Но, несмотря на все приложенные усилия, в процессе строительства многих объектов проблем избежать не удалось. Часто возникали аварийные ситуации,

препятствующие завершению строительства отдельных объектов в запланированные сроки. Одной из самых распространенных причин возникновения аварийных ситуаций на объектах является недостаточное изучение инженерно-геологических свойств грунтов основания сооружений, представленных аргиллитоподобными глинами сочинской свиты (Pg₃sč).

Аргиллитоподобные глины быстро разрушаются после вскрытия, например при подрезке склонов или при выемке грунта под прокладку автодорожного полотна. После снятия горного давления (вскрытия) происходит процесс разуплотнения аргиллитоподобных глин с образованием системы разноориентированных трещин. При замачивании глины набухают и размокают до состояния глинистого грунта с низкими значениями плотности, низкой несущей способностью и устойчивостью.

В литературных источниках (Геология СССР, том IX [7], объяснительная записка к листу К-37-IV [95, 31]), научных статьях и монографиях, посвященных изучению геологии Северного Кавказа, приводятся множественные сведения о литологии, стратиграфии и физико-механических свойствах аргиллитоподобных глин, но комплексных исследований, включающих в себя подробные микроструктурные исследования и обобщающих данные по аргиллитоподобным глинам, не проводилось. Во многих отчётах по инженерно-геологическим изысканиям для решения строительных задач исследуемые грунты относят в одних случаях к скальным, а в других случаях к глинистым породам, что не всегда отражает все действительные характеристики аргиллитоподобных глин. Для предупреждения аварийных ситуаций и определения возможности ликвидации последствий аварий при строительном освоении территории, необходимо подробно изучить свойства аргиллитоподобных глин в естественном состоянии, а так же при их вскрытии и взаимодействии с водой.

Цель работы.

Основной целью работы является выявление причин, определяющих природу специфических свойств аргиллитоподобных глин, а также изучение механизма и закономерностей изменения их физических и механических свойств при взаимодействии с водой для возможности прогнозирования поведения глин сочинской свиты при строительном освоении.

Задачи работы.

- Анализ и обобщение архивных материалов по аргиллитоподобным глинам сочинской свиты.

- Обследование территории с целью выявления и изучения мест аварийных ситуаций на техногенных объектах, расположенных местах распространения аргиллитоподобных глин.

- Проведение комплекса лабораторных исследований, позволяющего наиболее полно охарактеризовать изменение физических, прочностных и деформационных характеристик аргиллитоподобных глин в зависимости от степени их гидратации.

- Изучение свойств аргиллитоподобных глин, обусловленных преобладающими в них переходными ионно-электростатическими контактами, существование и механизм формирования которых были предсказаны и описаны В.И. Осиповым и В.Н. Соколовым.

- Комплексный анализ результатов лабораторных испытаний, основанный на новейших теоретических данных о микростроении глин и физико-химических аспектах взаимодействия глинистых частиц с целью определения механизма изменения микроструктуры глин при их гидратации.

- Исследование процессов изменения физико-механических характеристик массивов аргиллитоподобных глин во времени при нарушении их естественного залегания и замачивании на основании данных, полученных в результате проведения лабораторных испытаний, с учетом пространственного строения всей грунтовой толщи.

- Определение необходимой и достаточной методики лабораторных испытаний аргиллитоподобных глин, позволяющей достоверно и полно определять и моделировать изменение их свойств в процессе строительного освоения.

Информационная база исследований.

Основой диссертационной работы являются результаты комплексных лабораторных исследований, проведенных автором совместно с сотрудниками лаборатории изучения состава и свойств грунтов ИГЭ РАН им. Е.М. Сергеева. Также в основу диссертации легли результаты личных практических исследований автора, обобщение публикаций и архивных материалов по геологическому и инженерно-геологическому строению района Западного Кавказа и непосредственно района г. Большой Сочи. Список использованных источников приведен в конце данной работы.

Работа выполнена на основании исследований автора, проведённых в период с 2009 по 2014 гг. во время работы в изыскательских организациях ЗАО «Петербург-Дорсервис», ООО «Росгеостройпроект», РГСУ НИИ ТУ и ГП (Ростовский Государственный Строительный Университет, НИИ Территориального Управления и Градостроительного Планирования), ООО «Ростов-Сталкер», ООО "Гео-Проект", выполнявших инженерно-геологические изыскания для строительства олимпийских объектов в г.Большой Сочи. За время работы в вышеперечисленных организациях автор принимал непосредственное участие в инженерно-геологических изысканиях для строительства таких инженерных сооружений, как «Совмещенная железная и автомобильная дорога Адлер-"Альпика-Сервис"» [102], «Дублёр курортного проспекта» в г.Сочи [104], припортовые участки тоннелей №№ 8, 8а, 6 автодороги "Дублер Курортного Проспекта" [103], основанием которых частично или полностью послужили аргиллитоподобные глины. Автор отбирал пробы ненарушенной структуры непосредственно из створов тоннелей, проводил дополнительные работы по бурению скважин в местах распространения аргиллитоподобных глин для

последующего исследования образцов в грунтоведческих лабораториях, проводил анализ минералогического состава по результатам рентгенографических исследований и микроструктуры глин по результатам исследований образцов при помощи растрового электронного микроскопа в лаборатории электронной микроскопии кафедры инженерной и экологической геологии Московского Государственного Университета, проводил статистическую обработку и анализ полученных фактических данных.

Научная новизна.

- Впервые проведены специализированные комплексные исследования физических, механических и физико-химических свойств аргиллитоподобных глин сочинской свиты и их изменения при разной степени гидратации.

- На основании новейших теоретических данных о микростроении глин и физико-химических аспектах взаимодействия глинистых частиц впервые охарактеризован существующий в природных условиях тип контакта между глинистыми частицами аргиллитоподобных глин, который морфологически схож с фазовым, но является переходным ионно-электростатическим контактом в виду не устойчивости к гидратации.

- Изучены закономерности изменений микроструктуры и типов контактных взаимодействий между глинистыми частицами в процессе гидратации аргиллитоподобных глин и определены соответствующие изменения их физико-механических свойств.

- Результаты лабораторных испытаний позволяют прогнозировать поведение аргиллитоподобных глин при нарушении естественного сложения и увлажнении, исходя из условий конкретной строительной площадки и вида строительных работ.

Основные защищаемые положения.

- Аргиллитоподобные глины сочинской свиты имеют особое строение и свойства, обусловленные преобладающим в них типом структурных связей.

Условия литогенеза определили то, что между глинистыми частицами сформировались переходные контакты, близкие по морфологии к фазовым и образованные за счет сил ионно-электростатической природы, но не устойчивые к гидратации. При замачивании они разрушаются и переходят в точечные, а затем и в коагуляционные.

- В природном сложении аргиллитоподобные глины имеют высокую прочность и характеристики, схожие с аргиллитами, но при нарушении природного сложения и контакте с водой происходит восстановление гидратных пленок вокруг частиц и изменение микроструктуры глин. Это приводит к набуханию глин и существенному снижению прочностных и деформационных характеристик.

- Особые свойства аргиллитоподобных глин обуславливают необходимость прогнозирования их изменения в процессе строительства и эксплуатации сооружений применительно к условиям конкретной строительной площадки.

Методика исследований и достоверность результатов работы.

Все утверждаемые положения основаны на фактических данных, полученных при проведении полевых и лабораторных исследований. Основная часть лабораторных работ выполнена в лаборатории изучения состава и свойств грунтов (ЛИС и СГ) ИГЭ РАН им. Е.М. Сергеева. Статистическая обработка показателей свойств аргиллитоподобных глин, полученных в результате лабораторных испытаний, проводилась в соответствии с действующими нормативными документами на основе программного обеспечения Microsoft office excel.

Достоверность полученных результатов подтверждается статистической обработкой и научным анализом большого объема архивных и фактических материалов инженерно-геологических изысканий. Результаты исследований подтверждены инженерно-геологическими организациями, такими как ООО «Ростов-Сталкер», ЗАО «Петербург-Дорсервис», РГСУ НИИ ТУ и ГП, ОАО «Лорес», ООО "Росгеостройпроект", ООО "Гео-Проект".

Апробация и практическая значимость результатов исследований.

Диссертационная работа выполнялась во время и после проведения инженерно-геологических изысканий для строительства автодорог и дорожных сооружений в районе г. Большой Сочи.

Вносились коррективы в методы проведения полевых работ инженерно-геологическими организациями в местах распространения аргиллитоподобных глин. Составлялась программа лабораторных испытаний по определению физических, прочностных и деформационных свойств аргиллитоподобных глин с учётом опыта предыдущих исследований.

Основные результаты, полученные в ходе исследований, докладывались главным специалистам и главным инженерам проектов автодорожных организаций. Это повлияло на принятие проективных решений и выбор способа выполнения строительных работ. Кроме того, результаты исследований представлялись к обсуждению на Сергеевских чтениях (Москва, ИГЭ РАН, 2010 г.; Москва, ИГЭ РАН, 2010 г., в соавторстве с Ф.С. Карпенко, В.Н. Кутергиным, Р.Г. Кальбергеновым) и на международной конференции "Строительство 2011", г. Ростов-на-Дону, 2011г.

Результаты работы опубликованы в 8 публикациях, 4 из них размещены в журналах, список которых рекомендован ВАК.

Структура и объём работы.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов по результатам исследований аргиллитоподобных глин. Общий объём диссертации 157 страниц, включая 9 таблиц, 68 рисунков и список используемых источников из 107 наименований.

Автор выражает благодарность научному руководителю профессору Всеволоду Петровичу Ананьеву за руководство в работе над диссертацией. Неоценимую помощь в написании диссертации оказали академик РАН, директор ИГЭ РАН д.г.-м.н В.И.Осипов; профессор, заведующий лабораторией грунтоведения и технической мелиорации грунтов кафедры инженерной и

экологической геологии геологического факультета МГУ им. Ломоносова д.г.-м.н. В.Н.Соколов; к.г.-м.н. Ф.С.Карпенко; к.г.-м.н. Р.Г.Кальбергенов; к.г.-м.н. В.Н.Кутергин (ЛИСиСГ ИГЭ РАН). Так же за помощь в процессе работы автор выражает благодарность преподавателю каф. МПИ ГГФ ЮФУ к.г.-м.н., проф. Б.В.Талпе; преподавателю каф. общей геологии ГГФ ЮФУ доц. Ю.В.Попову; главному специалисту ООО НПП "Ориентир" А.Г.Истоминой, начальнику отдела изысканий ЗАО «Петербург-Дорсервис» в г. Санкт-Петербург О.А.Сиденко.

1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследованию геологического строения Северо-Западного Кавказа посвящено множество работ отечественных и зарубежных авторов, освещающих историко-геологические, литологические и тектонические особенности территории [1, 2, 6, 7, 12, 16, 27, 31-33, 35, 39, 41, 57, 70, 73-75, 87, 95-98, 105, 107], материалы которых использованы при написании этой главы.

Существенный вклад в изучение этой территории внесли такие ученые, как В.Е.Хайн, А.Б.Островский, С.А.Несмеянов, Л.Г.Ломизе, В.А.Гроссейм, Г.И.Баранов, Г.П.Лебедевко, Е.Е.Милановский, А.П.Щеглов и многие другие. Благодаря их исследованиям, в настоящее время территория Черноморского побережья и города Большого Сочи обеспечена подробными геологическими и тектоническими картами.

1.1. История геологического развития

Кавказ относится к складчатым сооружениям Средиземноморского пояса, который был заложен еще в рифее. Однако породы, слагающие современный рельеф территории Западного Кавказа, в основном приурочены к юрскому, меловому и палеоген-четвертичному периодам, которые в совокупности относятся к альпийскому этапу формирования Кавказа. Альпийский этап формирования Кавказа начинается с юрского периода. В нем различают 3 стадии – раннюю (J), среднюю (K_2 -Pg₁₋₂) и позднеальпийскую (K_2 -Pg₃-Q_{I-III}).

В раннюю стадию (юрский период) территория подвергалась значительному опусканию и морской трансгрессии по осям двух синклиналильных зон. Одна протягивалась вдоль южного склона Большого Кавказа. Вторая – Малокавказская – протягивалась почти параллельно первой. В обеих геосинклиналиях шло интенсивное накопление осадков.

Средняя стадия (поздний мел K_2 — палеоцен-эоцен Pg₁₋₂) характеризуется нисходящими движениями земной коры, распространением трансгрессий. В позднемеловую эпоху, в фазу максимальной трансгрессии, море затопило всю

территорию Кавказа, включая Главный хребет. Позднемеловая трансгрессия была последней, охватившей почти весь Кавказ.

В начале позднеальпийской стадии (палеоцен-олигоцен-четвертичный период) Кавказ превратился в обширный остров, слабо подверженный эрозионным процессам. На месте геосинклинали Большого Кавказа формировалась единая обширная геоантиклиналь - область погружения превращалась в область поднятия. До конца неогенового периода (N) рельеф Кавказа подвергался сильным эрозионным процессам. В результате получили широкое распространение формы зрелого рельефа — поверхности выравнивания, обширные долины с ровными днищами, куэстовые формы.

В олигоцене (Pg₃) Большой Кавказ вступил в орогенный этап развития, в течение которого происходило формирование горного сооружения Кавказа и связанных с ним краевых прогибов. Предкавказский краевой прогиб, состоящий из отдельных частных прогибов, заложен по северной периферии во время еще невысокого поднятия Большого Кавказа. Он сложен мощной толщей пород олигоцен-четвертичного возраста. В пределах всего краевого прогиба распространены отложения майкопской серии (олигоцен-нижнемиоценовые), представленные темными, часто битуминозными глинами с различной примесью песчанистого материала. Майкопская серия формировалась в основном за счет материала, поступающего со Скифской плиты, но и с Кавказа в это время поступал еще достаточно тонкий (глинистый) материал, так как в раннюю орогенную стадию (олигоцен — средний миоцен) происходило спокойное поднятие небольшой амплитуды.

Конец эоцена – начало раннего олигоцена характеризуется резким увеличением уровня мирового океана, примерно на 100м, началом прогибания Вала Шатского и ростом Кавказского острова Главного хребта. Это происходит вследствие субдукции Черноморской микроплиты под скифскую. Прогибание в течение раннего олигоцена некомпенсированное, на фоне постепенного понижения глобального уровня моря на 30-40 м. На протяжении конца раннего олигоцена уровень моря остаётся неизменным. В начале позднего олигоцена

происходит резкое снижение уровня мирового океана на 200м, вследствие чего происходит осушение аккумулятивного образования шельфа с развитием речной сети и особым режимом осадконакопления на образовавшихся склонах и подножии. В течение позднего олигоцена происходит незначительное изменение уровня моря до 50-60 м. В начале раннего миоцена характер осадконакопления изменяется на трансгрессивный на фоне стабильного уровня моря. Тектоническое прогибание в этот период наименьшим образом затрагивает Адлерскую депрессию. Лишь в конце раннего миоцена Адлерская депрессия испытывала поднятие, сопровождавшееся размывом майкопских отложений.

В четвертичном периоде произошло резкое омоложение рельефа Б.Кавказа и Закавказского нагорья. Древние поверхности выравнивания в четвертичное время оказались приподнятыми, вследствие чего образовались формы современного рельефа, основными элементами которого являются низкогорные возвышенности, платообразные водораздельные хребты и глубокие эрозионные врезы. Амплитуда четвертичных поднятий в осевой зоне составила 1,5-2,5 тыс.м, по периферии намного меньше.

1.2. Литологическое строение района

Район исследования характеризуется сложным геологическим строением и различной степенью обнаженности (плохая, удовлетворительная и хорошая). В его пределах распространены осадочные и метаморфические стратифицированные образования мезозойского и кайнозойского возрастов, слагающие два структурных этажа: нижне-среднеюрский (киммерийский) и альпийский (верхняя юра – неоген).

Геологическое строение исследуемой территории представлено на геологической карте лист К37, участок Дагомыс - Адлер [95] (рис.1). На карте отмечены области распространения пород дочетвертичного возраста и разрывные нарушения. Также выделяются основные структурно-фациальные складчатые зоны: Абхазская, в пределах которой выделяется подзона Адлерской депрессии; юго-восточная часть Чвежипсинской зоны; Воронцовский покров, как подзона

чвежепсинской зоны; антиклиналь Ахцу.

Альпийский структурный этаж представлен карбонатными и терригенно-карбонатными отложениями задугового флишевого бассейна Чвежипсинской структурно-фациальной зоны, а также терригенно-карбонатными мелководными осадками островного шельфа и остаточного морского бассейна.

В пределах исследуемой территории с поверхности под маломощными четвертичными отложениями до глубины 500 - 800м преобладают палеогеновые отложения. Палеогеновая система здесь представлена нижним (Палеоцен Pg_1), средним (Эоцен Pg_2) и верхним (Олигоцен Pg_3) отделами.

Палеоцен Pg_1

Свита Казачьей Щели (Pg_1 kšš) залегает в зоне Воронцовского надвига и представлена переслаиванием песчаников (от 5-10 до 60 см), алевролитов (10-15 см) и аргиллитов (10-15 см). В кровле преобладают окремненные аргиллиты, алевролиты и мергели. Мощность свиты достигает 220 м.

Пластунская свита ($Pg_1 pl$) распространена в пределах зоны Воронцовского надвига, где согласно залегает на свите Казачьей Щели и представлена аргиллитами и алевролитами плотными, темно-серыми, тонкослоистыми, песчаниками слоистыми, кварцевыми с известковистым цементом. Мощность толщи переслаивания в отдельных достигает 275 м. В границах пос. Пластунка в обнажении левого борта р. Сочи она представлена аргиллитами до 70% с прослоями песчаников до 15-20% и алевролитов до 5-10% (рис. 1).

Условные обозначения к геологической карте (рис. 1)

А Б Х А З С К А Я З О Н А		Ч В Е Ж И П С И Н С К А Я З О Н А	
N₁ai+pr	Адлерская и прервинская свиты объединенные. Глины серые тонкослоистые с тонкими присыпками известковистого песка, в средней части прослой сидеритов (680 м)	P₂nv	Навагинская свита. Чередование песчаников, аргиллитов, битуминозных мергелей. В подошве тонкоритмичный переслой пестроцветных аргиллитов, мергелей и алевролитов (110 м)
P₃mn+N₁kd	Мысовидненская и кудепстинская свиты объединенные. Глины слоистые скорлуповатые с прослоями алевролитов и песчаников, изредка септариевые конкреции (760 м)	P₂mm	Мамайская свита. Ритмичное переслаивание аргиллитов зеленовато-серых, фукоидных мергелей, алевролитов и карбонатных песчаников. В основании линзы подводнооползневых отложений (500–570 м)
P₃sc	Сочинская свита. Глины с прослоями алевролитов, реже песчаников (800 м)	P₁gl	Головинская свита. Аргиллиты серые, зеленоватые, кремневые с прослоями песчаников и алевролитов, реже известняков (100 м)
P₃ts	Хостинская свита. Чередование песчаников тонкослоистых, алевролитов и аргиллитов, внизу преобладают песчаники (200–320 м)	P₁pl	Пластунская свита. Чередование аргиллитов, алевролитов, песчаников, реже известняков (275–370 м)
P₃mc	Мацестинская свита. Неравномерное переслаивание глин мергелистых с алевролитами и песчаниками, внизу два олистостромовых горизонта (500 м)	P₁ksc	Свита Казачьей Щели. Ритмичное переслаивание кремневых алевролитов, песчаников, аргиллитов и мергелей (220 м)
Разрывные нарушения (а – достоверные, б – предполагаемые, в – достоверные, скрытые под вышележащими отложениями, г – предполагаемые, скрытые под вышележащими отложениями) Главные структурные швы а } сложной кинематики б } в } надвиги г } а } шарьяжи б } в } г } Прочие разломы а } надвиги б } в } г } а } шарьяжи б } неуставленной морфологии в }		P₁dg	Дагомьская свита. Переслаивание кремневых мергелей, алевролитов, песчаников, известняков, встречаются прослой кремней (450 м)
		K₂m	Мергельная толща. Переслаивание мергелей темно-серых, известняков, редко алевролитов (800 м)
		K₂mi	Мергельно-известняковая толща. Равномерное переслаивание известняков и мергелей с редкими прослоями алевролитов (300–350 м)
		K₂pt	Пестроцветная толща. Известняки пестроцветные тонкослоистые с прослоями мергелей (250 м)
		K₂vt	Вулканогенно-терригенная толща. Окремненные аргиллиты, алевролиты, реже мергели, туффиты, базальты (200 м)

vBP?a

Санкт-Петербург 199178, Сан



З О Н А А Х Ц У	
J₃ah	Джирхвинская свита. Известняки битуминозные, доломитизированные, в основании прослой мергелей, аргиллитов (900 м) (только на разрезе)
J₃kc	Кацирхская свита. Известняки рифогенные, органиогенно-обломочные, оолитовые, в основании – брекчированные (до 450 м)



Рис. 2. Обнажение пород Пластунской ($P_{g1\ pl}$) свиты в среднем течении р. Сочи. Переслаивание аргиллитов, песчаников и алевролитов.

Палеоцен-эоценовые отложения (P_{g1-2}).

Ахштырская свита ($P_{g1-2\ ah}$) распространена в пределах Адлерской депрессии, где окаймляет Ахунскую и Ахштырскую антиклинали, и в зоне Ахцу в виде эрозионных останцев. Мощность свиты составляет 190-210 м. Разрез представлен неравномерным чередованием пестрых серо-зеленых и серо-красноватых мергелей, включающих единичные прослои мергелистых известняков и карбонатных песчаников. В среднем течении р. Бол. Хоста в крыльях Ахштырской и Ахунской антиклиналей обнажаются мергели зеленовато-серого цвета плотные, слоистые, трещиноватые (рис. 3).



Рис. 3. Обнажение пород Ахштырской свиты ($P_{g1-2} ah$) в среднем течении р. Бол. Хоста. Пестроцветные мергели.

Эоцен (P_{g2}).

Эоценовые отложения на рассматриваемой территории представлены Мамайской свитой ($P_{g2} mm$), которая распространена в Чвижепсинской зоне в среднем течении р. Сочи и в верхнем течении реки Мал. Хоста, где несогласно залегает на более молодых породах Сочинской свиты ($P_{g3} sc$). Несогласное залегание обусловлено пологим надвигом пород Мамайской свиты, слагающих тело Воронцовского аллохтона, на более молодые породы Сочинской свиты. Разрез Мамайской свиты представлен ритмичным переслаиванием аргиллитов известковистых (0,1-0,8 м, 25-30%), известковистых песчаников и алевролитов (0,1-0,5 м, 15-25%). В средней части отмечаются редкие прослои известняков (5-15 см). В основании Мамайской свиты иногда наблюдается подводно-оползневой горизонт мощностью 40-50 м. Мощность свиты достигает 570 м. Ближе к разломной зоне Воронцовского надвига породы Мамайской свиты надвинуты на породы Сочинской свиты и имеют мощность от 50 до 250 м. В долине р. Сочи в 2

км выше по течению от поселка Навгатинка в бортах карьера обнажаются породы Мамайской свиты, где можно наблюдать неравномерное переслаивание аргиллитов, песчаников и алевролитов (рис. 4).



Рис. 4. Обнажение пород Мамайской свиты ($P_{g2} \text{ mm}$) в среднем течении р. Сочи. Переслаивание аргиллитов, песчаников и алевролитов.

Олигоцен (P_{g3}).

Олигоценовые отложения представлены Мацестинской ($P_{g3} \text{ mc}$), хостинской ($P_{g3} \text{ hs}$) и сочинской ($P_{g3} \text{ sc}$) свитами.

Мацестинская свита ($P_{g3} \text{ mc}$) распространена в Абхазской структурно-фациальной зоне, где согласно залегает на отложениях ахштырской свиты. Она представлена неравномерным переслаиванием глин мергелистых (0,2-0,3 м, 60-90%), алевролитов и песчаников (0,2 м, 10-40%). Мощность свиты достигает 500 м. В долине р. Бол. Хоста в районе пос. Воронцовка Мацестинская свита представлена частым переслаиванием алевролитов (0,05-0,1м, 30%), песчаников (0,05-0,35м, 40%) и глин мергелистых (0,03-0,1м, 20%) (рис. 5).



Рис. 5. Обнажение пород Мацестинской свиты ($Pg_3 ms$) в долине р. Бол. Хоста в районе пос. Воронцовка. Переслаивание глин мергелистых, алевролитов и песчаников.



Рис. 6. Обнажение пород Хостинской свиты ($Pg_3 hs$) в долине р. Мацеста. Слоистая толща глин мергелистых с прослоями алевролитов и песчаников.

Хостинская свита ($P_{g_3} hs$) согласно залегает на породах Мацестинской свиты и представлена чередованием песчаников (1,5-2,0 м, 75%), алевролитов (30-40 см, 10-15%) и карбонатных глин (10-15 см, 10-15%). К кровле происходит уменьшение мощности песчаных прослоев и увеличение глинистых. Общая мощность свиты с юго-востока на северо-запад уменьшается от 320 до 200 м. В долине р. Мацеста в районе пос. Прогресс Хостинская свита обнажается в виде слоистой толщи глин мергелистых с прослоями алевролитов (0,05-0,15 м, 15%) и песчаников (0,03-0,10 м, 15-20%) (рис. 6).

Сочинская свита ($P_{g_3} sc$) согласно перекрывает Хостинскую и представлена глинами аргиллитоподобными темно-серыми, серыми с редкими прослоями алевролитов и песчаников (от 1-5, до 1-2 м) (рис. 7). Породы Сочинской свиты наиболее широко распространены в пределах Адлерской депрессии, с поверхности они почти повсеместно перекрыты четвертичными отложениями различного генезиса и мощности, в виде покровного или прерывистого чехла. Общая мощность свиты достигает 800 м.



Рис. 7. Обнажение пород Сочинской свиты ($P_{g_3} sc$) в междуречье р. Сочи и р. Мацеста. Аргиллитоподобные глины с редкими прослоями песчаников.

1.3. Тектоническое строение района

Район исследований относится к краевой части Абхазского микроконтинента (крайней западной области Закавказских срединных массивов) и захватывает юго-восточную часть Чвижепсинской складчатой зоны, Воронцовский покров (как подзона Чвижепсинской зоны), антиклиналь Ахцу и зону Адлерской депрессии. В перечисленных структурах, как и в пределах всего Западного Кавказа, господствует продольная зональность общекавказского направления. В этом направлении вытянуты основные структурные зоны, ограниченные крупными разломами глубокого заложения и системами развившихся из них надвигов. Кроме серии продольных глубинных разломов и надвигов, Западный Кавказ разделен зонами поперечных нарушений, которые обуславливают поперечную ступенчатость области. В структуре складчатого сооружения Северо-Западного Кавказа хорошо проявлена региональная система продольных разрывных зон (сжатие + правый сдвиг) запад – северо-западного простирания. Эти зоны концентрации правосдвиговых деформаций являются определяющими для тектонического строения рассматриваемого сегмента Большого Кавказа.

Чвижепсинская складчатая зона в пределах исследуемой территории на юге граничит с шовной зоной Ахцу, на востоке имеет весьма чёткую границу по реке Мзымта и с северо-запада скрыта под Воронцовским покровом.

Воронцовский покров является крупным надвигом (шарьяжем), протягивающимся с запада на восток до верхнего течения реки Большая Хоста. Воронцовский покров сложен отложениями нижнего и среднего палеогена, разбитых системой сместителей, и перекрывает отложения Адлерской депрессии и частично верхне- и среднеюрские отложения антиклинали Ахцу.

Зона Ахцу – это типичная шовная антиклиналь, которая представлена верхнеюрскими рифовыми известняками островного шельфа (J_3-P_{g2}), которые обнажаются в ядре Воронцовской антиформы. Западнее верховий Хосты антиклиналь перекрыта Воронцовский покровом. Северная граница зоны Ахцу

эрозионно-тектоническая, южная – тектоническая и представлена субвертикальным Монастырским разломом северо-западного простирания. Ограничивающие антиклиналь Ахцу Агвайский и Монастырский разломы протягиваются под аллохтоном к поселкам Солоники и Головинка.

Адлерская депрессия расположена в междуречье Сочи — Псоу, южнее зоны Ахцу. Депрессия выполнена в основном молассовыми образованиями олигоцена — миоцена. Среди широких плоскодонных синклиналей Адлерской депрессии кулисообразно расположены коробчатые брахиантиклинали: Кудепстинская, Ахштырская и Ахунская. В ядре первой из них обнажены верхнеюрские рифогенные известняки. Ахштырская и Ахунская антиклинали сложены в ядрах меловыми известняками, слегка скошены к северо-востоку и разбиты серией продольных крутопадающих разрывов.

Адлерская впадина (Сочи – Адлерская депрессия) является типичным раннеорогенным прогибом, выполненным песчано-глинистыми аналогами майкопской серии на позднеорогенной стадии развития Западного Кавказа. Южная её часть продолжала прогибаться в начале позднеорогенной стадии. В пределах впадины различаются несколько структур первого порядка. В её западной части Навгатинская структурная ступень сменяется южнее Сочинской группой грабенов, которая разделяет Мамайскую систему блоков и Ахунско-Бытхинскую гряду горстов. Восточная часть Адлерской впадины сложена серией продольных складок и цепей складок. На юго-востоке Адлерская впадина замыкается ограниченной поперечными флексурами Западноагринской ступенью.

Мощные глинистые толщи при напряженной тектонике образуют мелкую сложную складчатость, а массивные толщи известняков или изверженных пород создают куполовидные или сундучные спокойные формы. В том случае, если поверх таких непластичных толщ залегают мощные глинистые серии (майкопская серия Адлерской депрессии), то они при складкообразовании сминаются в мелкие дисгармоничные складки, не соответствующие структуре подстилающих толщ.

Геоморфологические материалы показывают, что воздымание территории Адлерской впадины относится к плиоцену или к началу четвертичного периода. Не исключено, что наиболее высокие поднятия типа Ахунского получили орографическое выражение в начале плиоцена.

Историко-геологические аспекты формирования территории города Большого Сочи в совокупности обусловили её современное геологическое строение, рельеф и инженерно-геологические особенности пород. Среди всех пород, слагающих исследуемую территорию, породы Сочинской свиты обладают особыми (специфическими) свойствами, связанными с их способностью менять свои инженерно-геологические характеристики при вскрытии и взаимодействии с водой. Так как вышеупомянутые породы активно используются в качестве основания для строительства различных сооружений и автодорог, то очень важно понимать причины этих особенностей, поэтому следует более подробно рассмотреть условия формирования и строение пород, чему будет посвящена следующая глава.

2. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ АРГИЛЛИТОПОДОБНЫХ ГЛИН

2.1. Условия формирования аргиллитоподобных глин

Формирование инженерно-геологических свойств горных пород тесно связано с их генезисом и историей существования, с теми процессами, влияние которых они испытали со времени формирования первичного глинистого осадка вплоть до настоящего времени. Генетический подход к изучению свойств глинистых грунтов был сформирован В.В. Докучаевым [18] и П.А. Замятченским [23] и впоследствии, в 30-х годах XX века, развит М.М. Филатовым [71, 72]. Современный вид теория генетического подхода приобрела благодаря классику отечественной инженерной геологии Е.М. Сергееву, который под генезисом понимал весь комплекс процессов, происходящих на стадии седиментогенеза и постседиментационных преобразований. Генезис определяет первичный состав, строение и свойства генетических типов глинистых образований, которые сохраняются в течение всей истории существования породы [44]. Благодаря работам Е.М.Сергеева, В.Д.Ломтадзе, В.И.Осипова, П. П.Ипатова и др. доказано, что физико-механические свойства пород также определяются особенностями геологического строения и геологической историей их жизни. Для установления природы физико-механических свойств аргиллитоподобных глин необходимо кратко рассмотреть условия их образования.

В течение палеогенового периода происходили неоднократные воздымания и погружения Западного Кавказа и отдельных его частей с образованием положительных форм рельефа и седиментационных бассейнов разной глубины, в которых шло накопление теригенного материала со стороны приподнятых участков суши. В верхнем палеогене, в эпоху эоцен-олигоцена, началось формирование горного сооружения Кавказа - происходило постепенное слияние островов, замыкание прогибов и преобразование всей территории в сушу. Зона сочи-адлерской депрессии в этот период представляла собой шельф средних глубин (100-200м), на что указывает грубая слоистость глин, наличие песчаных

прослоев, присутствие органики как в прослоях, так и в виде отдельных вкраплений, и преобладание в глинистых минералов групп каолинита, иллита (монтмориллонита) и смешанослойных (иллит-сметтита). В олигоцене территория испытывала преимущественно компенсированное прогибание, где гипсометрический уровень дна седиментационного бассейна оставался на одной глубине или колебался в незначительных пределах. В условиях гумидного (теплого и влажного) климата активно протекали процессы химического, физического и биологического выветривания, что способствовало обильному поступлению терригенного материала в зоны накопления, образующего в шельфовых зонах мощные толщи глинистых отложений.

При попадании в водную среду глинистые частицы формируют вокруг себя двойной электрический слой и образуется дисперсная система. Под влиянием преимущественно гравитационных сил в процессе седиментогенеза глинистые частицы сближаются и начинают взаимодействовать друг с другом. Характер взаимодействия частиц и скорость осаждения на дно седиментационных бассейнов различны и зависят от их размера, формы, минерального состава и химического состава водной суспензии. Глинистые минералы, например минералы групп смешанослойных, смектитов и некоторых гидрослюдов, находясь в водной среде во взвешенном состоянии, образуют вокруг себя развитую гидратную пленку, что затрудняет их коагуляцию с образованием микроагрегатов. По этой причине глинистые частицы этих минералов не осаждаются в мелководных частях седиментационного бассейна и выносятся в глубоководную его часть, что обуславливает их накопление в осадках, сформировавшихся в условиях шельфа средних глубин. Глинистые минералы группы каолинита обладают меньшей устойчивостью в природных дисперсиях по сравнению со смешанослойными, смектитами и некоторыми гидрослюдистыми минералами, что объясняется относительно большими размерами самих частиц и слабым развитием вокруг них диффузных слоёв. Поэтому они могут интенсивно агрегировать и ещё больше увеличивать свои размеры, образуя микроагрегаты, которые осаждаются на ранней стадии седиментогенеза и выпадают в осадок в

основном в условиях шельфового мелководья вместе с песчано-пылеватым материалом [45].

В результате последовательного дифференцированного осаждения в водной среде глинистых минералов образуются рыхлые отложения текучей консистенции с преобладанием дальних коагуляционных контактов между частицами, которые на стадии диагенеза перекрываются новыми порциями осадков, и происходит постепенное преобразование рыхлого осадка в породу под влиянием физических, физико-химических, биохимических и гравитационных процессов. В результате изменяется состав осадка и поровой воды, снижается влажность, повышается плотность, изменяются микростроение и структурные связи.

На стадии диагенеза при дальнейшем погружении глинистого осадка происходит его уплотнение под внешними нагрузками от вышележащей толщи грунтов. С повышением геостатического давления происходит отжатие основной массы свободной воды (дегидратация) вверх по разрезу в природную часть водоёма или в более грубые по составу перекрывающие слои осадков, которые играют роль дренирующих горизонтов. Как следствие - уменьшение толщины и впоследствии частичное разрушение диффузного (осмотического) слоя, и уменьшение расстояния между глинистыми частицами.

Диагенез подразделяется на две стадии - раннюю и позднюю [44]. На ранней стадии наряду с дальними коагуляционными контактами (рис. 8, а), начинают формироваться ближние коагуляционные контакты между глинистыми частицами (рис. 8, б). На фоне незначительного давления от вышележащих толщ (до 8 м) формирование структурных связей на этом этапе проходит в основном под влиянием биохимических и физико-химических процессов. Породы характеризуются высокой пористостью, высокой влажностью и текучей консистенцией (табл.1). В начале поздней стадии на глубине около 8-15 м преобладающими в осадке становятся ближние коагуляционные контакты (рис. 8, б), что сопровождается постепенной потерей осадком тиксотропных и появлением у него пластичных свойств [44] (табл.1).

На границе позднего диагенеза и раннего катагенеза при дальнейшем погружении глин происходит удаление остатков свободной воды и активное отжатие связанной (осмотической) воды диффузных оболочек глинистых частиц, как следствие - уменьшение толщины гидратной пленки в зоне контактов с её последующим прорывом и образованием более прочных переходных (точечных) контактов (рис. 8, в). Поэтому в подзоне раннего катагенеза (80 - 800м) глины характеризуются микроструктурой смешанного типа, так как они образованы одновременно ближними коагуляционными и переходными контактами. На границе перехода от раннего к среднему этапу катагенеза, при повышении давления и температуры на глубинах 2100-3600 м, происходит постепенное формирование более прочных фазовых контактов за счёт сил ионно-электростатической природы и замещение ими переходных контактов. На этом этапе также происходит отжатие ионов диффузного слоя вместе с гидратирующими их молекулами воды, что приводит к повышению концентрации порового раствора. Это, в свою очередь, создаёт условия для начала цементации пород за счет перенасыщения порового раствора кремнием и гидрослюдизации глинистых минералов в условиях избытка калия. Процесс продолжается до перехода изотермической границы в 65-70°, которая соответствует концу раннего - середине среднего этапа катагенеза. С переходом через изотермическую границу происходит удаление адсорбционно-связанной воды. Этот процесс носит исключительно термодинамический характер и не зависит от давления. С ростом температуры возрастает число трансляционных перемещений молекул адсорбированной воды, что приводит к их отрыву от поверхности глинистых частиц и переходу в свободное состояние [44]. В результате активизируется механизм растворения и нового минералообразования, что способствует формированию наряду с переходными (точечными) и фазовых контактов цементационного типа (рис. 8, е). Процесс удаления молекул адсорбционной воды продолжается в течение второй половины этапа среднего катагенеза и до конца позднего катагенеза.

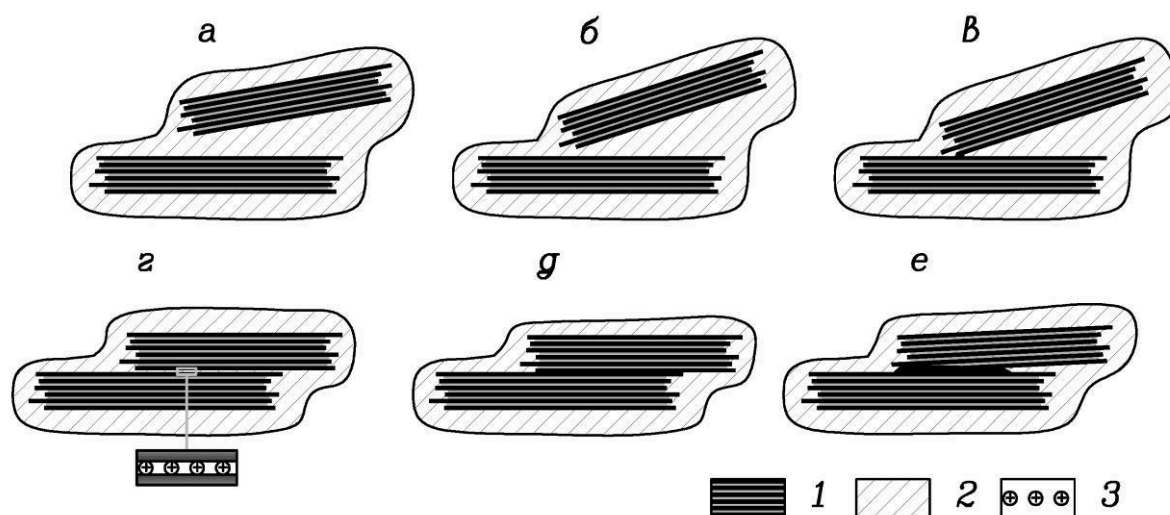


Рис. 8. Типы контактов между глинистыми частицами : а - дальний коагуляционный; б - ближний коагуляционный; в - переходный (точечный); г - фазовый, за счёт ионно-электростатических сил; д - фазовый кристаллизационный; е - фазовый цементационный. 1 - глинистая частица; 2 - связанная вода; 3 - ионно-электростатические силы [44].

Более подробно механизм контактного взаимодействия глинистых частиц и образования более прочных контактов между ними в процессе литогенеза выглядит следующим образом. С уменьшением расстояния между частицами происходит изменение электростатического взаимодействия между ними с изменением потенциала на границе адсорбционного и диффузного слоёв. В результате сближения частиц и перекрытия диффузных слоёв двойного электрического слоя часть катионов, находящихся в диффузном слое на поверхности одной из частиц, вступает во взаимодействие одновременно с обеими поверхностями (рис. 9, а).

Это приводит к появлению между частицами дополнительных сил ионно-электростатического притяжения, с образованием так называемых ионно-электростатических "мостиков", которые вместе с молекулярными силами значительно увеличивают энергию взаимодействия (притяжения) частиц. Описанный процесс усиливается взаимным поджатием частиц под влиянием капиллярных менисков в результате дегидратации глин.

При этом энергия ионно-электростатического взаимодействия при малых толщинах гидратных прослоек намного превышает энергию молекулярного притяжения [44]. Таким образом, происходит формирование дополнительных сил притяжения за счёт ионно-электростатических сил. Одновременное воздействие гравитационных сил и дегидратации обеспечивает максимально эффективный процесс уплотнения.

При дальнейшем сближении глинистых частиц под действием внешнего давления и капиллярного поджатия гидратная пленка утончается и продавливается (разрушается), в результате чего частицы соприкасаются, и в отдельных точках образуются новые контакты - переходные или точечные - ограниченные по размеру метастабильные площадки с преобладанием сил электростатической и химической природы [55] (рис. 9, б). При этом часть контакта, окружающая точечный контакт, сохраняет черты коагуляционного. Переходными эти контакты были названы вследствие того, что их поведение определяется как молекулярными взаимодействиями (на коагуляционных участках контакта), так и более прочными силами химической и ионно-электростатической природы (на участках непосредственного соприкосновения частиц) [43, 46, 63]. Преобладание переходных или точечных контактов характерно для твердого состояния глин.

В результате последующего роста геостатического давления и температуры на стадии начальных катагенетических преобразований частицы плотно поджимаются друг к другу, за счет чего увеличивается площадь их контакта и, наряду с уже существующими точечными, происходит формирование фазовых контактов за счет ионно-электростатических связей.

Механизм формирования фазового контакта ионно-электростатической природы заключается в следующем. При сближении контактирующих глинистых частиц и уменьшении угла, под которым они контактируют, происходит их переориентация параллельно друг другу, увеличение площади

взаимодействия частиц с образованием всё большего количества ионно-электростатических связей и повышением прочности контакта (рис. 9, в).

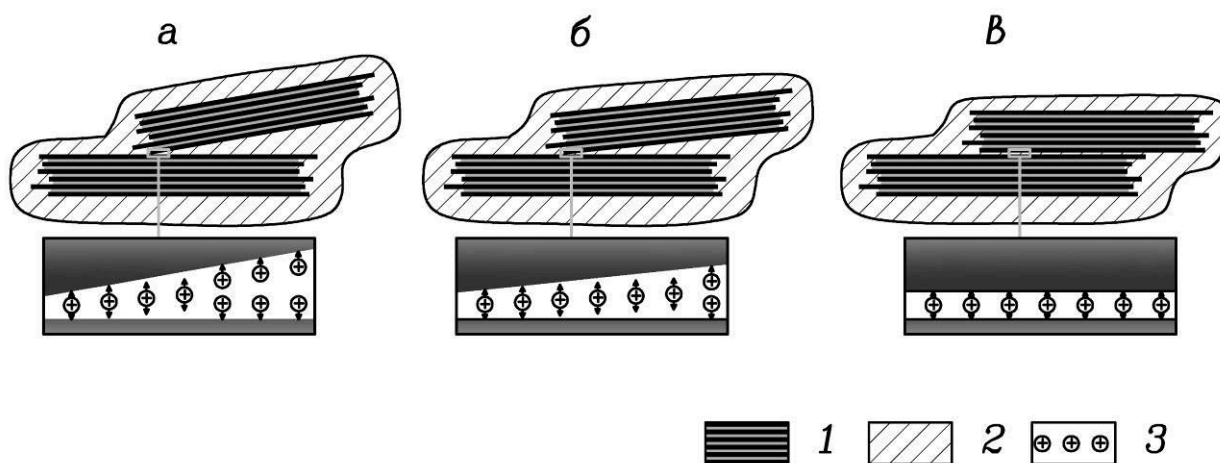


Рис. 9. Образование фазового контакта за счёт ионно-электростатических сил : а, б - переходный контакт; в - фазовый контакт, образованный за счёт ионно-электростатических сил; 1 - глинистая частица; 2 - связанная вода; 3 - ионно-электростатические силы [44].

Это возможно при контакте и плотном поджатии частиц с молекулярно гладкими базисными поверхностями в глинистых системах с преобладанием гидрослюдистых и смешанослойных глинистых минералов.

Расчётная величина силы притяжения, приходящейся на один ионно-электростатический контакт ("мостик"), достигает $0,14 \cdot 10^{-10} \text{ Н}$. Экспериментально доказано, что при достижении суммарной силы притяжения между глинистыми частицами микронного размера равной $3 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ контакт становится необратимым фазовым [46, 63]. Расчетным путем, зная величину силы притяжения глинистых частиц, при которой контакт становится водостойким и необратимым фазовым ($3 \cdot 10^{-7}$), и величину силы притяжения, приходящейся на один ионно-электростатический контакт ("мостик"), можно получить количество контактов ("мостиков"), необходимых для образования необратимого фазового контакта:

$$3 \cdot 10^{-7} \text{ Н} / 0,14 \cdot 10^{-10} \text{ Н} = 2,1 \cdot 10^4$$

Из расчетов следует, что в случае образования на контакте двух глинистых частиц микронного размера ионно-электростатических связей в количестве $< 2,1 \cdot 10^4$ контакт является метастабильным и обратимым. А это значит, что в случае снятия внешнего давления и дополнительного увлажнения глин, гидратация катионов в контактной зоне возрастает, что приводит к разрушению образовавшихся связей, увеличению расстояния между частицами, восстановлению гидратных пленок вокруг частиц и обратной трансформации контактов сначала в точечные, а потом, при достаточно долгом водонасыщении, и в коагуляционные. Вода, проникая в промежутки между глинистыми частицами, образует вокруг них гидратные пленки, возникает расклинивающее давление гидратных пленок, частицы раздвигаются и переориентируются друг относительно друга.

Особенности минерального состава, условий накопления и литогенетических преобразований отложений аргиллитоподобных глин сочинской свиты обусловили то, что фазовые контакты цементационного типа в них не сформировались. Однако, при максимальном погружении глин на глубину не более 1000 - 1500 м [93, 94], которая соответствует раннему этапу катагенетических преобразований, под воздействием высокого геостатического давления (около 400 кг/см^2) и температуры около 60 градусов (что не превышает величины термодинамического барьера) сформировались переходные контакты ионно-электростатической природы. В отличие от цементационных, характерных для этой стадии литогенетических преобразований глинистых пород, ионно-электростатические связи в переходных контактах являются обратимыми. Поэтому при снятии нагрузки и гидратации аргиллитоподобных глин переходные ионно-электростатические контакты преобразуются в точечные, затем в коагуляционные.

С началом воздымания осадочной толщи аргиллитоподобных глин в эпоху плиоцена, ознаменовалась новая стадия преобразований - эпигенетическая. Процесс эпигенетических преобразований по своей

направленности относится к стадии регрессивного литогенеза [34, 51, 56, 81]. На стадии эпигенеза глины претерпели процессы, развивающиеся вследствие изменения их напряженно-деформируемого состояния, физико-химических и климатических условий. В числе этих процессов разгрузка и разуплотнение; тектонические процессы; растворение и переотложение солей; выветривание; техногенные воздействия.

Процесс разгрузки глин происходит при поднятии пород в результате положительных тектонических движений и их эрозионном размыве выше уровня моря. Разгрузка сопровождается гравитационным и физико-химическим разуплотнением, формированием вторичной трещиноватости упругого распора, что является начальной стадией разрушения массива глин. Образовавшиеся микро- и макротрещины не всегда проявляются и видны макроскопически. В аргиллитоподобных глинах множество скрытых микротрещин, которые проявляются при дополнительных физических воздействиях (статических и динамических). В больших по мощности толщах глинистых пород процесс снятия напряжения и приведение его в соответствие с действующей природной нагрузкой может продолжаться десятки и даже сотни тысяч лет [40]. В результате тектонических воздействий на слоистую толщу аргиллитоподобных глин формируются складки, разрывные нарушения различной амплитуды смещения (тектонические разломы), тектонические трещины (рис. 10). В присводовой части складок образуются растягивающие напряжения, а на крыльях создаются условия дополнительного сжатия, что необходимо учитывать при проходке подземных выработок [13, 37]. Тектонические разломы и трещины вызывают нарушение сплошности пород, увеличение их неоднородности и анизотропии. Трещиноватость является главным фактором, определяющим физико-механические, фильтрационные и другие свойства высоколитифицированных глинистых пород [44].

К числу важнейших процессов, проходящих на стадии эпигенеза, относится выщелачивание, в основе которого лежит серия взаимосвязанных

процессов растворения солей при контакте с растворителем, поступление их в поровый раствор и последующий вынос из породы [44]. Растворенные в поровых и трещинных водах карбонаты переотлагаются в образовавшихся в результате эпигенетических преобразований трещинах и разрывных нарушениях, образуя карбонатные прожилки в аргиллитоподобных глинах (рис. 10).

Аргиллитоподобные глины не устойчивы к гидратации, поэтому сильно подвержены процессам выветривания. К тому же высоколитифицированные глины, к которым относятся глины сочинской свиты, претерпевают наиболее глубокие изменения при выветривании, так как при тектоническом поднятии они оказываются в термодинамических условиях, резко отличающихся от прежних условий их существования. В результате формируется зона (кора) выветривания, мощностью от нескольких метров до десятков метров в зависимости от рельефа, гидрогеологических и климатических условий.

Изменения пород, вызванные техногенными воздействиями, получили название антропогенного литогенеза или техногенеза [25, 29]. В условиях плотной застройки в г. Сочи и активизации строительства тоннелей, автодорог и других сооружений, антропогенный фактор воздействия на массив аргиллитоподобных глин имеет большое значение. Многочисленные подрезки склонов, подземные выработки, разработка карьеров, понижение уровня грунтовых вод способствуют разуплотнению, трещинообразованию, обезвоживанию пород, что существенно изменяет их изначальные свойства, вызывает развитие процессов набухания и усадки, образование оползней и обвалов.

Аргиллитоподобные глины, в виду своих особенностей, являются сложным объектом для инженерного освоения и по этому важно определить границы их распространения в пределах исследуемой территории.



Рис. 10. Массив аргиллитоподобных глин. Тектонические смещения, открытые трещины и трещины, заполненные кальцитом.

2.2. Распространение аргиллитоподобных глин в пределах района исследований.

Район исследований находится на территории Краснодарского края, в пределах трех административных районов г. Большого Сочи: Центрального, Хостинского и Адлерского. Центральный район Большого Сочи расположен от реки Верещагинка до пос. Сергей-Поле и занимает территорию площадью 31 км². Хостинский район расположен между реками Верещагинка и Кудепста и занимает площадь 104 км². Адлерский район площадью 1352 км² расположен между реками Кудепста и Псоу.

На карте города Большой Сочи масштаба 1:100 000 (рис. 11) отмечены области распространения аргиллитоподобных глин сочинской свиты, залегающих с поверхности, либо под маломощными четвертичными отложениями, суммарная площадь которых составляет 59 км². В центральной части города они покрывают площадь около 25 км², в Хостинском районе - 17,6 км², в Адлерском - 16,4 км². Область распространения аргиллитоподобных глин практически полностью охватывает: центральную часть Большого Сочи; прибрежную часть Хостинского района; южную часть Адлерского района и территорию поселков Вардане-Верино и Лесной, где они служат основанием для различных инженерных сооружений и дорог, слагают откосы автодорожных выемок и являются вмещающими породами для автодорожных тоннелей (рис. 12, 13).

В центральной части города практически все основные транспортные артерии, такие как Дублер Курортного Проспекта с восемью транспортными тоннелями, улицы Донская и Виноградная, улица Транспортная с двумя двухуровневыми кольцевыми развязками, трасса обхода города Сочи М 27 с тремя тоннелями проходят в зоне распространения пород сочинской свиты.

Аргиллитоподобные глины имеют широкое распространение в пределах исследуемого района и являются объектом активного инженерного освоения, что дает основание для проведения детальных исследований их свойств.



Карта распространения аргиллитоподобных глин сочинской свиты
 Центральный район Большого Сочи
 М 1:50 000

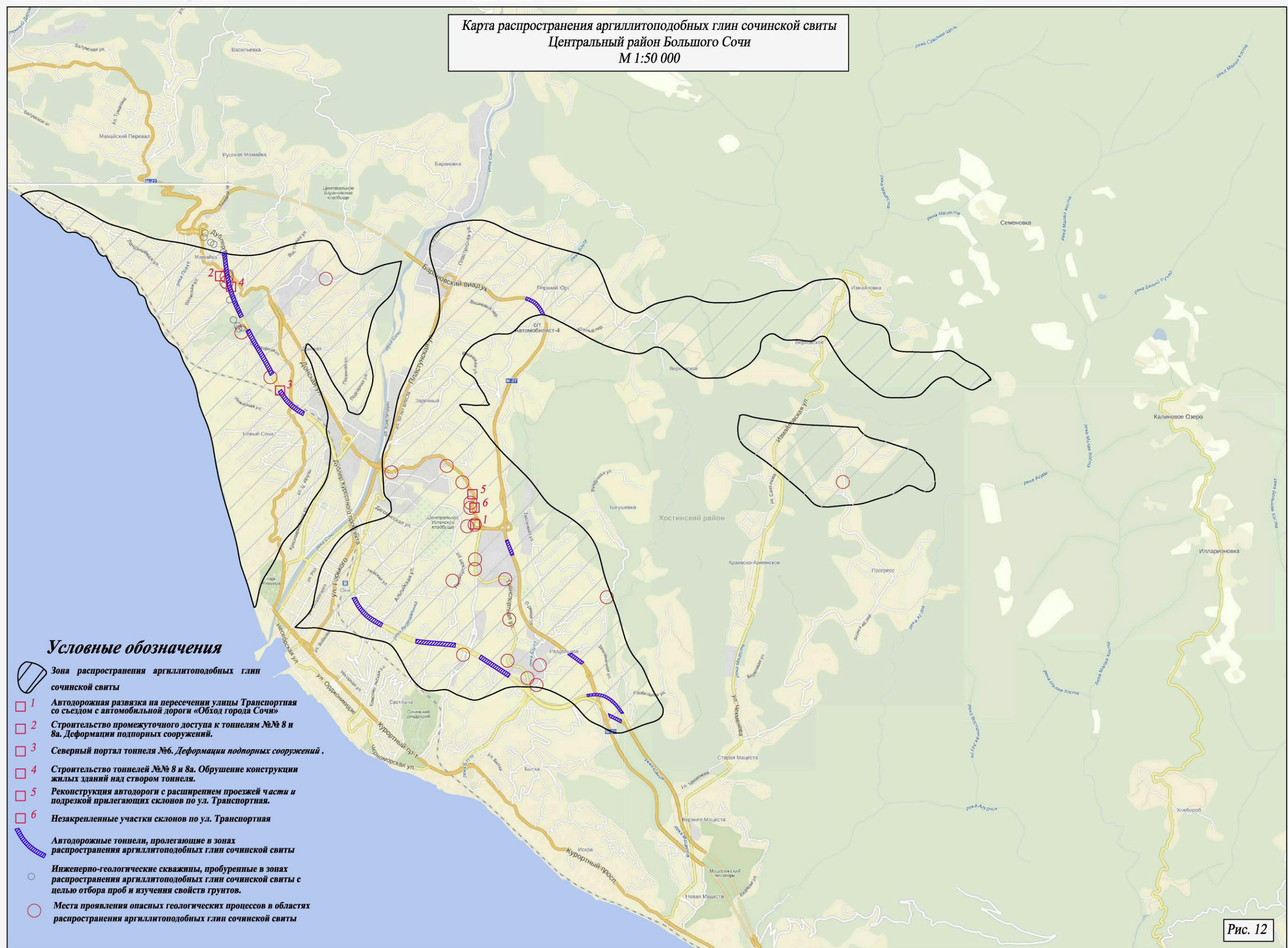
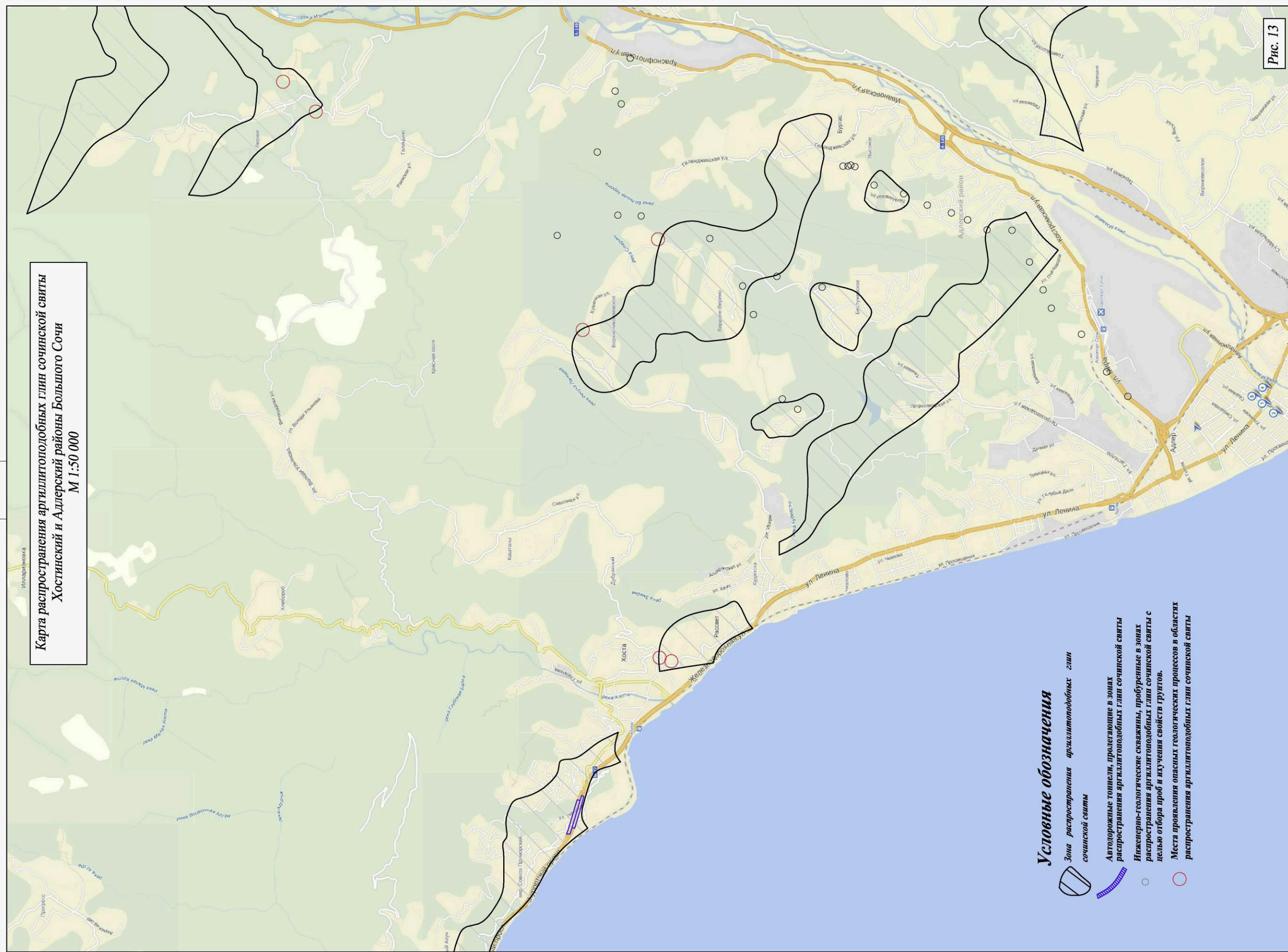


Рис. 12



Карта распространения аргиллитоподобных глин сочинской свиты Хостинский и Адлерский районы Большого Сочи
М 1:50 000

Условные обозначения





-  Зона распространения аргиллитоподобных глин сочинской свиты
-  Автодорожные тоннели, пролегающие в зонах распространения аргиллитоподобных глин сочинской свиты
-  Инженерно-геологические скважины, пробуренные в зонах распространения аргиллитоподобных глин сочинской свиты с целью отбора проб и изучения свойств грунтов.
-  Места проявления опасных геологических процессов в областях распространения аргиллитоподобных глин сочинской свиты

Рис. 13

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АРГИЛЛИТОПОДОБНЫХ ГЛИН

3.1. Минералогический состав по результатам рентгенографического анализа.

С открытием рентгеноструктурного метода исследования глинистых минералов было написано множество фундаментальных работ в области структурной минералогии глин. Работы Л.Паулинга [90], Г.Бриндли [83], Н.В.Белова [3], Б.Б.Звягина [22], С.Бейли [82], Е.Радословича [91], В.А.Дрица [19, 21], Ч.Уивера [92] и многих других ученых сегодня являются классическими в этом направлении и служат основой для проведения данных исследований. В настоящее время минералогические исследования получили своё развитие в работах В.Г.Шлыкова [77, 78], В.А.Дрица и А.Г.Коссовской [20], В.Н.Соколова [65], В.И.Осипова [44, 42].

Рентгенографический метод позволяет наиболее достоверно установить наличие глинистых минералов и диагностировать их до определенных групп и видов, определить параметры элементарной ячейки и изучить тонкие структурные особенности минералов, что и было выполнено при проведении настоящих исследований.

Минералогический анализ аргиллитоподобных глин выполнен с использованием рентгеновского дифрактометра ULTIMA-4 фирмы Rigaku (Япония), приобретенного за счет средств программы развития Московского университета в лаборатории кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова под руководством заведующего лабораторией д.г-м.н., профессора В.Н.Соколова. Рабочий режим прибора – 40 кВ-40 мА, при проведении опытов использовалось медное излучение и никелевый фильтр, фиксированная система фокусируемых щелей, диапазон измерений составлял $3-55^\circ$ и $3-65^\circ$ 2θ , шаг по углу сканирования – 0.02° 2θ . Для ускорения съемки и повышения качества экспериментальных данных

использовался полупроводниковый детектор нового поколения - DTex/Ultra, со скоростью сканирования $10^{\circ}2\theta/\text{мин}$.

Для проведения корректного количественного минералогического анализа глинистых образцов применяется стадийная пробоподготовка и исследование отдельно глинистой фракции и валовых образцов. В первом случае из валовых образцов проводился отбор глинистой фракции менее 2 мкм, который осуществлялся согласно закону Стокса путем отстаивания водной суспензии (отмучивания глинистой фракции). Из полученной глинистой фракции готовились ориентированные препараты на стеклах. Приготовленные препараты снимались в воздушно-сухом состоянии и после насыщения этиленгликолем в течении суток в эксикаторе при комнатной температуре. Во втором случае валовые образцы растирались и набивались в кюветы без использования прессования при постоянном контроле качества поверхности для приготовления максимально разориентированных препаратов.

Диагностика минерального состава проводилась методом сопоставления экспериментального и эталонных спектров из базы данных PDF-2 в программном пакете Jade 6.5 компании MDI. Количественный анализ проводился методом полнопрофильной обработки рентгеновских картин от неориентированных препаратов [53] в программном продукте RockJock [84]. Для глинистой фракции использовался сравнительный анализ ориентированных препаратов в воздушно-сухом состоянии и после насыщения этиленгликолем. Диагностика глинистых минералов проводилась согласно Moore and Reynolds, 1989 [89].

Результаты рентгенографического анализа представлены в виде рисунков (рис. 14, 15) и таблицы (табл. 2).

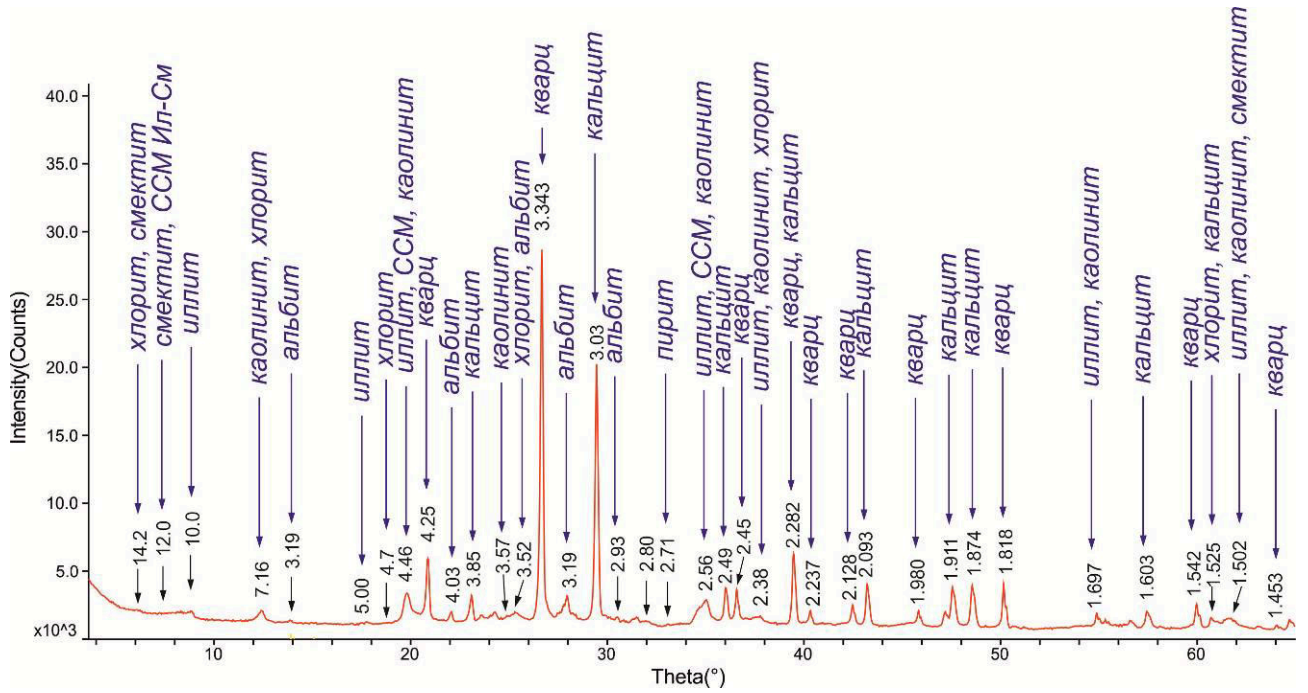


Рис. 14. Дифрактограмма, снятая с неориентированного препарата, приготовленного из валового образца аргиллитоподобной глины с идентификацией минерального состава. Межплоскостные расстояния указаны в ангстремах.

Таблица 2.

Минеральный состав валового образца аргиллитоподобной глины (вес., %)

Кварц	КПШ	Плагио- клазы	Пирит	Каль- цит	Магне- зит	Каоли- нит	Иллит	ССМ	Смек- тит	Хло- рит
22,3	3,8	7,4	0,8	25,6	0,7	10,9	7,3	16,6	3,2	1,4
Процентное соотношение глинистых минералов в пересчете на глинистую фракцию										
						27,7	18,5	42,1	8,1	3,6

На дифрактограмме, снятой с неориентированного препарата, приготовленного из валовой пробы аргиллитоподобной глины (рис. 14), отмечаются базальные рефлексии, соответствующие минералам перечисленным в таблице 2. В составе валового образца преобладают кальцит (25,6%), кварц (22,3%), смешанослойные глинистые минералы (16,6%) и каолинит (10,9%). Калиевые полевые шпаты (КПШ) представлены микроклином, смешанослойные глинистые минералы (ССМ) ряда иллит-смектит с преобладанием иллитовых межслоев. Суммарное содержание

глинистых минералов, таких как каолинит, иллит, ССМ, смектит и хлорит, составляет 39,4 %.

На дифрактограммах, снятых с ориентированных препаратов, приготовленных из тонкой глинистой фракции (менее 0,002 мм) в воздушно-сухом состоянии и после насыщения этиленгликолем отмечаются базальные рефлексы, соответствующие глинистым и неглинистым минералам (рис. 15). Из неглинистых минералов присутствуют кварц, кальцит и небольшая примесь альбита. Глинистые минералы однозначно идентифицированы по базальным рефлексам первого порядка (J_{001}): каолинит ($J_{001} = 7,15 \text{ \AA}$), иллит ($J_{001} = 10,1 \text{ \AA}$), диоктаэдрический смектит (монтмориллонит) и смешанослойные глинистые минералы ряда иллит-смектит (ССМ Ил-См) с содержанием смектитовых слоёв порядка 20-30% и порядка 50-60% ($J_{001} = 14,2-17,2 \text{ \AA}$), хлорит ($J_{001} = 7,15 \text{ \AA}$).

На дифрактограммах, снятых с препаратов после насыщения этиленгликолем, отмечается увеличение значений базальных рефлексов первого порядка у монтмориллонита (диоктаэдрического смектита) и смешанослойных минералов ряда иллит-смектита с $14,2 \text{ \AA}$ до $17,2 \text{ \AA}$, что говорит о способности к внутрикристаллическому разбуханию кристаллической решетки этих минералов.

Смектиты характеризуются строением структурного слоя типа 2:1 (два тетраэдра и один октаэдр) и в межслоевом промежутке удерживают катионы Ca, Na, Mg и др. и молекулы воды. Структуры такого типа подвержены изоморфным замещениям, когда в кристаллических решетках минералов происходит замещение одних катионов на другие, близкие по размеру, в результате чего тип кристаллической структуры остается прежним, а изменяются только химический состав и свойства. Замещение одних катионов на другие может приводить к нарушению электронейтральности кристаллической структуры и появлению у нее избыточного отрицательного заряда (нестехиометрическое замещение). Отрицательный заряд на поверхности частиц при отсутствии влаги полностью нейтрализуется ионами-

компенсаторами и обуславливают её электронейтральность, образуя на поверхности частиц двойной электрический слой (ДЭС). При увлажнении происходит гидратация ионов-компенсаторов, что приводит к "размытию" ионного покрова и отдалению части ионов от поверхности частицы на некоторое расстояние с образованием адсорбционного и диффузного слоёв воды. Мощность диффузного слоя и гидрофильность глинистых минералов во многом определяется величиной отрицательного заряда. Среднее значение отрицательного заряда на поверхности частиц смектитов равно 0,5 элементарного заряда.

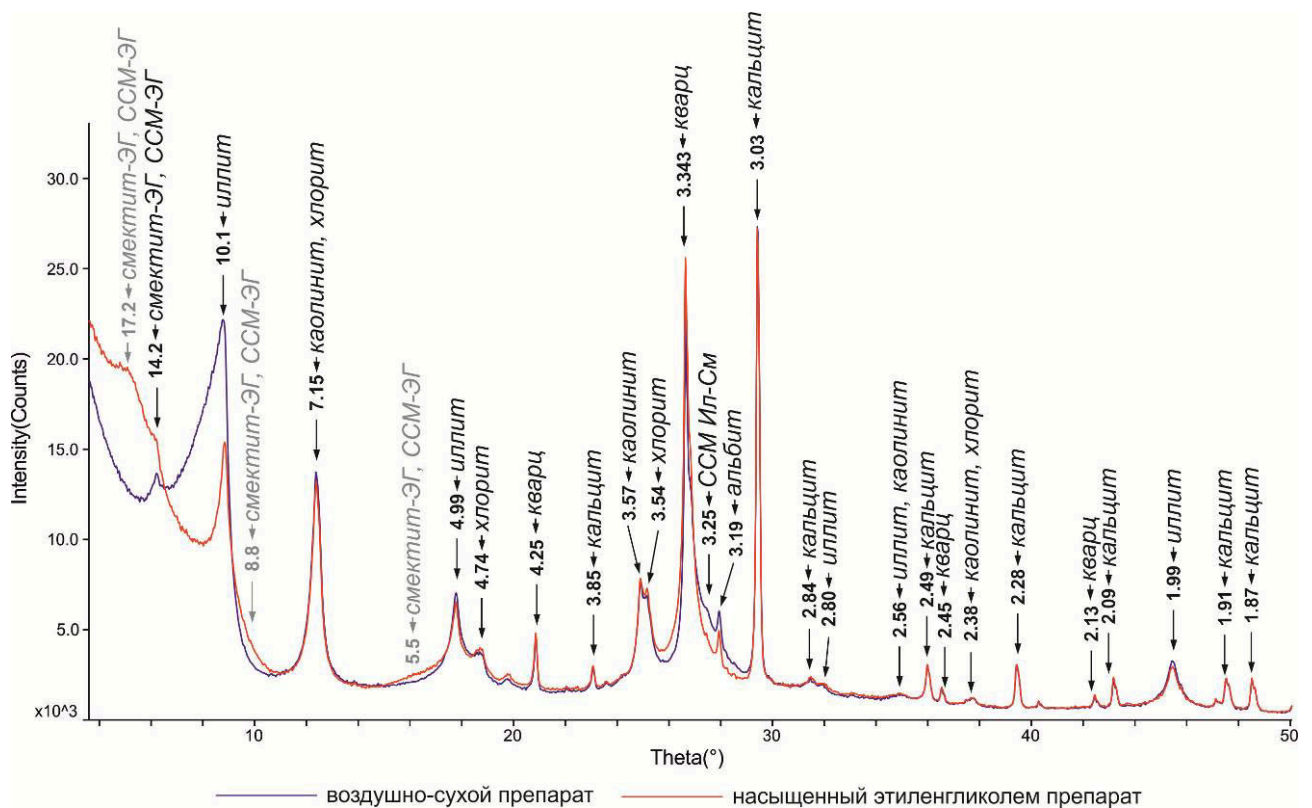


Рис. 15. Дифрактограммы, снятые с образцов в воздушно-сухом состоянии и после насыщения этиленгликолем. Рефлексы глинистых и неглинистых минералов отмечены стрелками. Отражения от набухающих фаз в насыщенном этиленгликолем препарате отмечены серым шрифтом. Межплоскостные расстояния указаны в ангстремах.

Одним из самых распространенных минералов группы смектитов является диоктаэдрический смектит или *монтмориллонит*, содержание которого в аргиллитоподобных глинах по результатам анализа составляет

8,1%. Структура монтмориллонита представляет собой упорядоченное чередование силикатных слоёв типа 2:1 и межслоевых промежутков, заполненных молекулами воды и обменными катионами. Основные изоморфные замещения в монтмориллоните приурочены к октаэдрической сетке, где Al^{3+} замещается на двухвалентные катионы Fe^{2+} и Mg^{2+} , расположенные в межслоевых промежутках структуры. В результате величина отрицательного заряда октаэдрических сеток превышает заряд тетраэдрических сеток и на поверхности минерала образуется отрицательный заряд. Характерной особенностью монтмориллонита является то, что молекулы воды и других полярных образований (глицерин, этиленгликоль) могут проникать между структурными слоями, вызывая внутрикристаллическое разбухание.

Сочетание высокого изоморфизма и способности принимать в межслоевое пространство молекулы воды делает минералы группы смектитов неустойчивыми к гидратации и способствует разрушению микроагрегатов.

Иллит содержится в глинистой фракции аргиллитоподобных глин в количестве 18,5% и относится к группе гидрослюдистых минералов со строением структурного слоя типа 2:1. Характерной особенностью иллитов является незначительное количество разбухающих слоёв (до 10%) и наличие двухвалентных катионов в октаэдрах. Межслоевые ионы калия частично замещаются на катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , только 1/6 часть атомов Si^{4+} замещаются на Al^{3+} .

Преобладающими в глинистой фракции аргиллитоподобных глин являются *смешанослойные* минералы ряда иллит-смектит (42,1%). Группа смешанослойных минералов - одна из наиболее распространенных среди глинистых пород. Смешанослойные минералы характеризуются упорядоченным, либо неупорядоченным чередованием слоёв в кристаллической решетке. В данном случае чередование элементарных слоев иллита и смектита неупорядоченное, на что указывает асимметрия и ширина

базального отражения, характеризующего кажущееся межплоскостное расстояние смешанослойных образований.

Каолинит занимает второе место после смешанослойных по процентному соотношению минералов в глинистой фракции аргиллитоподобных глин (27,7%). Каолинит относится к диоктаэдрическим минералам со структурой слоя типа 1:1 (чередование одной тетраэдрической и одной октаэдрической сетки), практически не подверженной изоморфным замещениям. В зависимости от степени совершенства каолинита, величина общего заряда на поверхности слоя может изменяться от 0 до 0,11 элементарного электрического заряда. Прилегающие структурные слои связаны между собой молекулярными и водородными взаимодействиями между атомами кислорода (O) и гидроксильными группами (OH). Энергия этих связей намного превышает энергию гидратации межслоевого пространства, поэтому минералы каолинитовой группы не обладают способностью к внутрикристаллическому разбуханию.

Хлорит представлен в наименьшем количестве относительно всех имеющихся в аргиллитоподобных глинах глинистых минералов (3,6%). Данный минерал характеризуется структурой слоя типа 1:1:2 с неразбухающей кристаллической решеткой. Одна из отличительных особенностей минерала - слабая устойчивость в зоне гипергенеза, обусловленная окислением Fe^{2+} октаэдрических сеток минерала, что объясняет их наименьшее содержание в глинах.

Исходя из специфики исследований и поставленных задач, особый интерес из всех глинистых минералов, идентифицированных в глинистой фракции аргиллитоподобных глин, представляют минералы группы смектита и смешанослойные минералы (иллит-смектит) со строением структурного слоя типа 2:1 ввиду их высокого энергетического потенциала. Кристаллические решетки этих минералов наиболее подвержены изоморфным замещениям, в результате которых нарушается электронейтральность структуры и появляется избыточный отрицательный

заряд на поверхности глинистых частиц, что обуславливает их гидрофильность и способность формировать вокруг себя развитый слой гидратной пленки. Минералы группы смектита (монтмориллонит) и смешанослойные минералы (иллит-смектит) обладают способностью к внутрикристаллическому разбуханию, что при гидратации способствует разрушению микроагрегатов, как следствие - увеличению удельной поверхности и объема всей глинистой системы.

3.2. Физические характеристики.

Гранулометрический и микроагрегатный составы аргиллитоподобных глин сочинской свиты в пределах исследуемого района меняются в небольших пределах и выдержаны по простиранию и глубине. Содержание глинистой фракции размерностью $<0,001$ мм по результатам микроагрегатного анализа аргиллитоподобных глин изменяется в пределах от 19 до 27%, в среднем составляет 25%; пылеватой - от 51 до 66 %, в среднем – 59%; песчаной – от 0 до 21%, в среднем - 16%. Содержание глинистой фракции размерностью $<0,001$ мм по результатам гранулометрического анализа изменяется в пределах от 36 до 49%, в среднем составляет 45%; пылеватой - от 38 до 56 %, в среднем – 48%; песчаной – от 0 до 12%, в среднем - 7%. Подготовка образцов к гранулометрическому составу проводилась путем кипячения суспензии образца с аммиаком и растиранием. Гранулометрический состав аргиллитоподобных глин отличается от микроагрегатного состава, о чём свидетельствует коэффициент агрегированности K_a для глинистых частиц, вычисляемый по формуле:

$$K_a = C_r / C_m, \text{ где}$$

C_r – содержание глинистых ($<0,001$) частиц в аргиллитоподобных глинах по результатам гранулометрического анализа;

C_m – то же, по результатам микроагрегатного анализа [10].

Коэффициент агрегированности аргиллитоподобных глин равен 1,8, что указывает на присутствие в глинах агрегатов пылеватой размерности,

сформированных из глинистых частиц, более устойчивых к гидратации [10]. При дисперсном способе подготовки глин к гранулометрическому анализу с применением раствора аммиака и растиранием почти в два раза повышается содержание глинистых частиц по отношению к микроагрегатному анализу за счёт разрушения агрегатов пылеватой размерности (рис. 16).

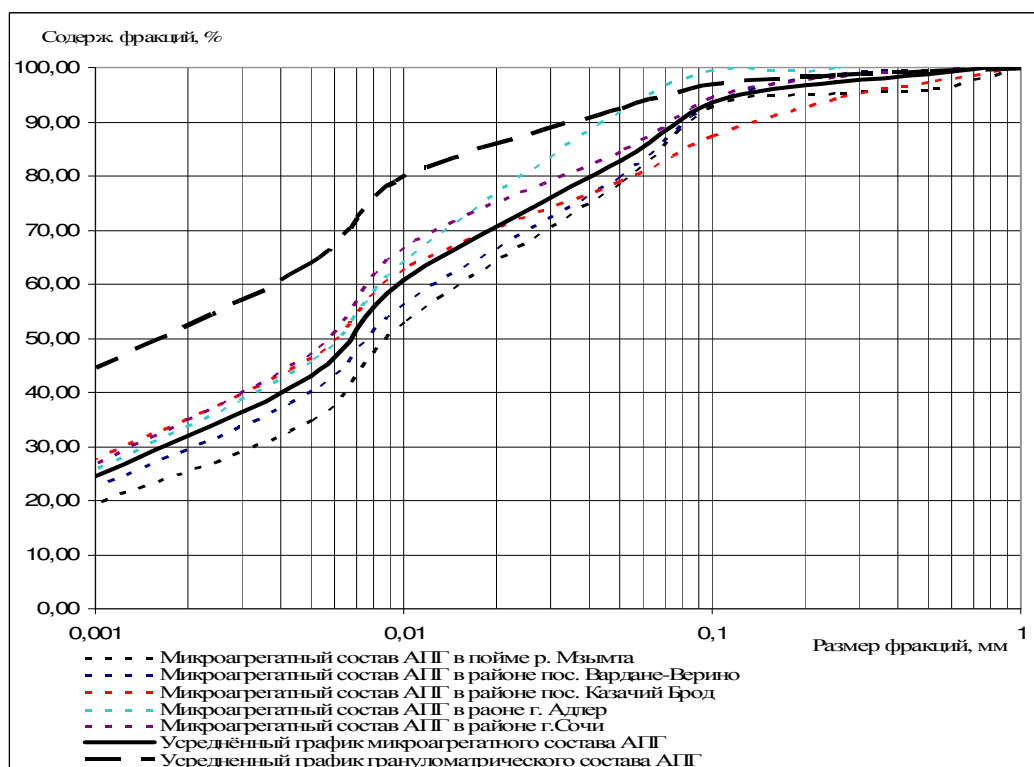


Рис. 16. Интегральные кривые микроагрегатного и гранулометрического состава аргиллитоподобных глин.

Существует несколько видов общих и частных классификаций глинистых грунтов по их гранулометрическому составу. В современном грунтоведении для классифицирования различных типов грунтов используется общая гранулометрическая классификация грунтов В.В.Охотина, выраженная графически в виде треугольной диаграммы [48] (рис.17). Согласно этой классификации глинистая фракция начинается с размерности частиц менее 0,002 мм.

На треугольной диаграмме В.В. Охотина (рис. 17) видно, что по микроагрегатному составу (М) аргиллитоподобные глины располагаются на границе суглинка пылеватого и глины пылеватой, а по гранулометрическому

составу (Г) они приближаются к глине тяжелой и классифицируются как глина пылеватая.

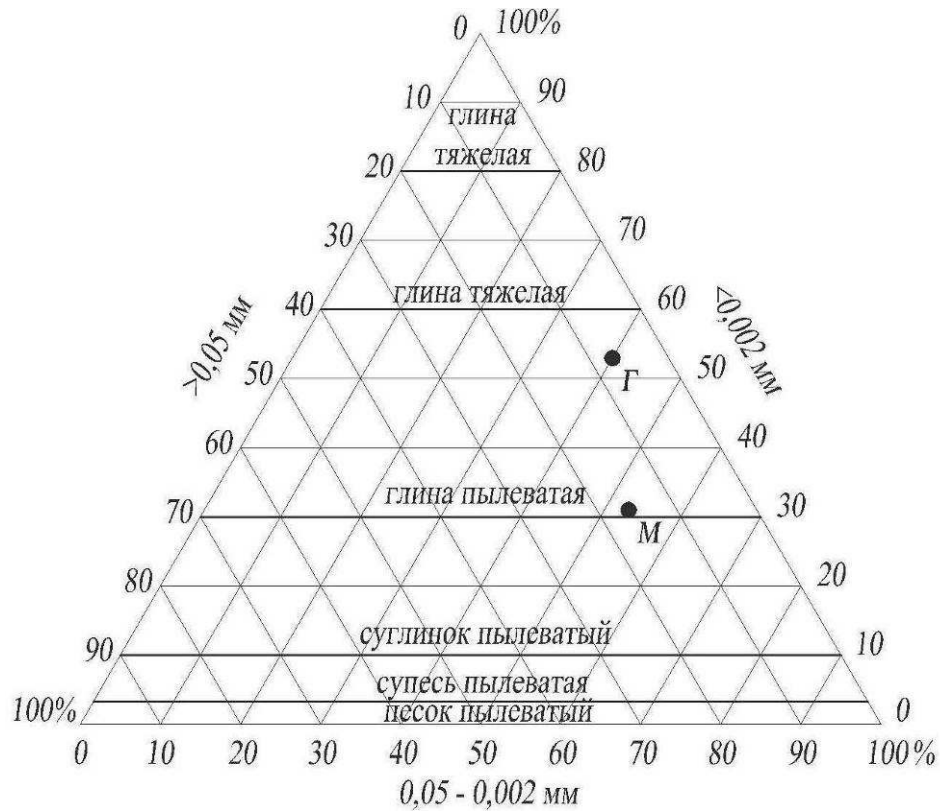


Рис. 17. Классификация аргиллитоподобных глин по микроагрегатному (М) и гранулометрическому (Г) составу на треугольной диаграмме В.В. Охотина [49].

Число пластичности I_p аргиллитоподобных глин сочинской свиты изменяется в широких пределах от 8 до 21% и в среднем составляет 14,0%. Верхний предел пластичности (граница текучести) W_L изменяется от 23 до 51% и в среднем составляет 35%, нижний предел пластичности (граница раскатывания) W_p - от 15 до 28% , в среднем – 21%. Большой разброс значений чисел пластичности обусловлен несколькими факторами, в числе которых различия в степени сортированности глинистого материала при седиментации, наличие и густота тонких песчаных прослоев в глинистой толще, степень агрегированности тонкодисперсной фракции.

Между верхним пределом текучести и числом пластичности аргиллитоподобных глин выявлена корреляционная связь, которая выражается формулой:

$$I_p = 0,69W_L - 9,1$$

Коэффициент корреляции (R^2) при расчете линейной зависимости между числом пластичности и верхним пределом текучести равен 0,792. Зависимость числа пластичности от верхнего предела пластичности по 62 образцам отображена на графике (рис. 18).

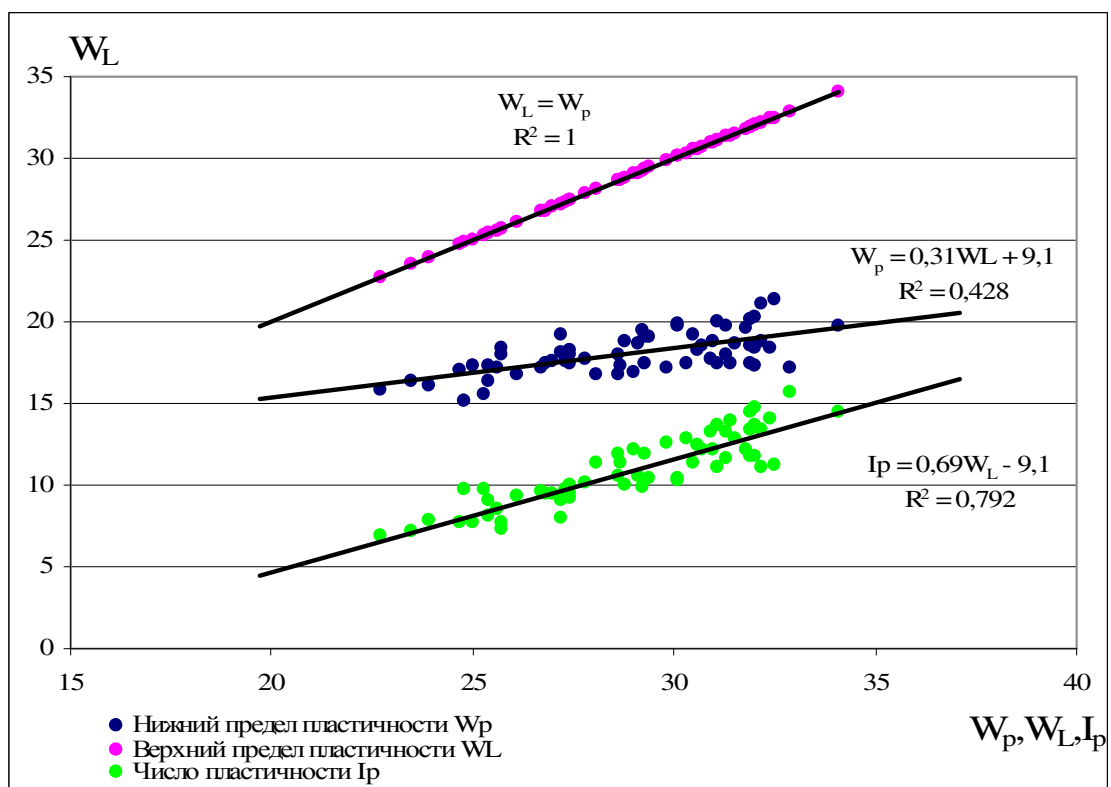


Рис. 18. Зависимость числа пластичности от верхнего предела пластичности.

Влажность естественная изменяется в пределах от 5,6 до 31% и составляет в среднем 12,5%. Уменьшение влажности грунта наблюдается с глубиной. Наибольшие значения влажности наблюдаются на глубинах от 0,0 до 5,0 – 8,0 м. Это обусловлено увлажнением грунта в приповерхностных слоях атмосферными осадками и грунтовыми водами. Повышение влажности также наблюдается в зонах тектонических разломов, по которым дренируются грунтовые и поверхностные воды.

Консистенция в природном состоянии I_L твердая и редко полутвердая. Показатель текучести изменяется от (-)1,30 д.ед. до 0,20 д.ед. В редких случаях в приповерхностных слоях показатель текучести превышает 0,25 д.ед. С глубиной показатель текучести уменьшается. В зонах развития верховодки или грунтовых вод значения влажности повышаются на 1 - 3 %, показатель текучести аргиллитоподобных глин повышается, но при этом глины остаются твердыми.

Плотность ρ является важной характеристикой для аргиллитоподобных глин. В пределах исследуемой территории до разведанной глубины 70,0 м естественная плотность глин изменяется в пределах от 1,70 до 2,50 г/см³.

Большой разброс значений плотности в приповерхностных слоях на глубинах до 10 – 12м связан с набуханием и разуплотнением аргиллитоподобных глин при снижении давления вышележащей грунтовой толщи и воздействием факторов выветривания. Глубже 10-12м давление вышележащей грунтовой толщи увеличивается, активность процессов выветривания уменьшается, что препятствует разуплотнению аргиллитоподобных глин.

Снижение значений плотности наблюдается вблизи зон разрывных нарушений. В пределах зоны дробления аргиллитоподобные глины характеризуются повышенной трещиноватостью и повышенными значениями влажности. Плотность их здесь достигает минимальных значений.

Увеличение плотности с глубиной имеет нелинейный характер. Плотность нижележащих слоёв аргиллитоподобных глин может быть меньше, чем плотность вышележащих, и наоборот. Это объясняется разной структурой и текстурой слоёв, различиями в гранулометрическом составе и разной степенью их литификации. На рисунке 19 показаны два соседних слоя глин сочинской свиты, различающиеся по текстуре и цвету. Мощность слоёв в толще переслаивания изменяется в среднем от 2 до 15-20см. Плотность

соседних слоёв глин различная. Так, на глубине 7,5м плотность слоя №1 равна $2,24 \text{ г/см}^3$, слоя №2 - $2,31 \text{ г/см}^3$.

Плотность аргиллитоподобных глин изменяется как по простиранию, так и по глубине. Это связано со степенью расчлененности рельефа, литологическими особенностями пород и гидрогеологическими условиями. Степень, глубина и скорость выветривания аргиллитоподобных глин зависят от скорости механического сноса с поверхности разуплотнённого и разрушенного материала, который служит естественным барьером для проникновения агентов выветривания в глубину.

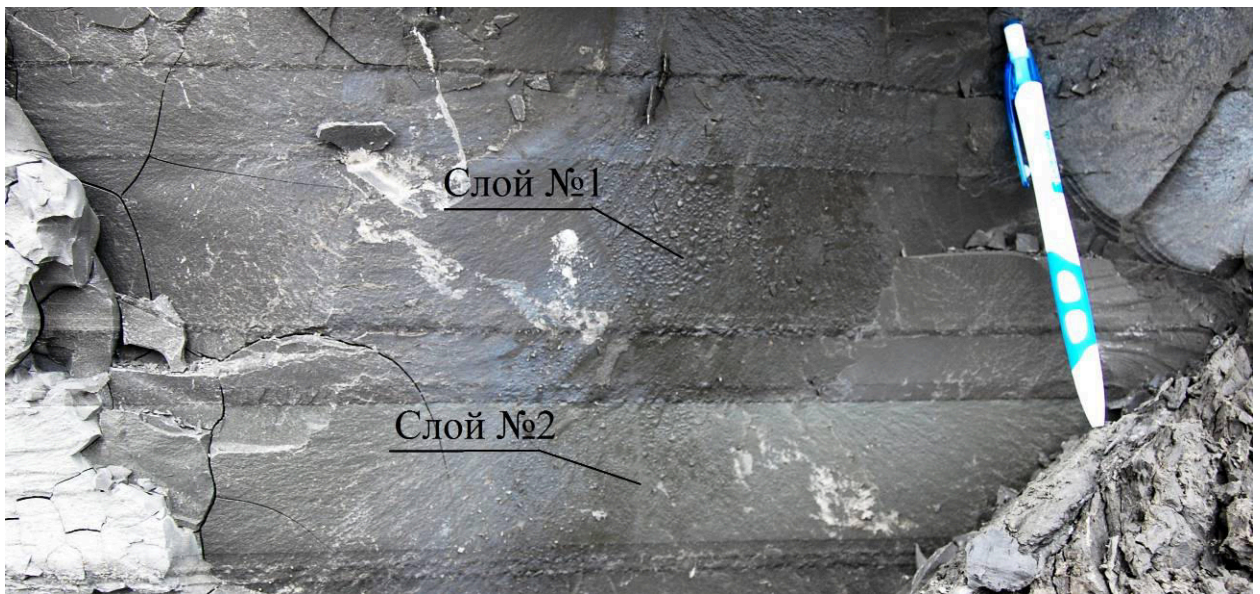


Рис. 19. Слои аргиллитоподобных глин в обнажении Сочинской свиты в районе ул. Транспортная на левом склоне р.Сочи.

Наблюдения за свободным размоканием образцов. Визуальный осмотр образцов показал наличие слоистости в виде тонких (от 1 до 5-8мм) слойков светло-серой и серой глины и мелких закрытых трещин. Образец аргиллитоподобной глины размером 12х8см был помещен в плоскодонную чашу с дистиллированной водой. Толщина слоя воды поддерживалась на уровне 1см от уровня дна чаши. Температура воздуха на протяжении всего опыта, в течение 8 часов, составляла 25°C . Видимые изменения образца фиксировались через определённый промежуток времени на фотокамеру (рис. 20).

В первые три часа происходило активное разуплотнение образца. Образец растрескивался на отдельности размером до 1-3см и набухал. В течение остального времени (5 часов) растрескавшийся образец впитывал в себя воду и увеличивался в объёме. После опыта глина приобрела текучепластичную консистенцию (рис. 20).



Рис. 20. Свободное размокание аргиллитоподобной глины
в течение 8 часов

3.3. Физико-химические и механические свойства

3.3.1. Исследование прочностных характеристик

Прочностные характеристики аргиллитоподобных глин определялись в грунтоведческой лаборатории ИГЭ РАН методом одноплоскостного среза в сдвиговом приборе “Controls Shear tester T207 Digital” с программируемым управлением и автоматической регистрацией параметров эксперимента (рис.21).



Рис. 21. Общий вид прибора “Controls Shear tester T207 Digital” для испытаний грунтов на сдвиг.

Технические возможности прибора позволяют создавать максимальную вертикальную нагрузку (σ) до 20 кН, максимальную сдвигающую нагрузку (τ) до 10 кН с максимальной относительной деформацией сдвига (ϵ) 25% и задавать скорость горизонтальных перемещений в диапазоне 0,00001 - 4,0

мм/мин. Стандартные размеры образца для проведения испытаний составляют в диаметре (b) 71,5мм и высотой (H) 35мм, площадью (F) 40 см².

Целью проведения испытаний являлось получение зависимости изменения прочностных характеристик глин от степени их увлажнения и величины набухания.

Пробы ненарушенной структуры для изготовления образцов и последующих испытаний отобраны из створа тоннеля №6, пройденного в толще аргиллитоподобных глин сочинской свиты, на глубине более 70 м от поверхности.

Образец глины, вырезанный из проб при помощи фрезы, помещается в прибор. Сдвиговые испытания глин проводились по консолидированно-недренированной схеме. Консолидация образцов вертикальной нагрузкой производилась в приборе в условиях открытой системы при оттоке поровой воды через дренажи. Вертикальная нагрузка передается через верхний штамп прибора. Испытания подготовленных образцов в сериях проводились путем сдвига нижней подвижной каретки сдвигового прибора относительно верхней неподвижной каретки. Для этого прикладывались горизонтальные сдвигающие усилия τ , возникающие при перемещении нижней каретки с постоянной заданной скоростью 0,05 мм/мин. После испытаний при трех значениях вертикальной нагрузки σ , равных 0,5;0,1;0,15 МПа, определялись параметры сдвига: $\text{tg}\varphi$ - коэффициент трения, φ – угол внутреннего трения и C – сцепление. В таблице 3 и на рисунке 22 приведены результаты испытаний образцов глины на срез.

Прочностные характеристики серии образцов №1 были получены в естественном состоянии при природной влажности $W = 6,9\%$, естественной плотности $\rho = 2,49\text{г/см}^3$, плотности сухого грунта $\rho_d = 2,33\text{ г/см}^3$, показателе текучести $I_L = -0,88$ д.ед. и составили угол внутреннего трения $\varphi = 44^\circ$ и удельное сцепление $C = 149$ кПа. Физические и физико-механические показатели этого образца в дальнейших исследованиях были приняты за исходные.

Таблица 3

Зависимость прочностных характеристик аргиллитоподобных глин от влажности и величины набухания

N серии образцов	Краткое описание последовательности действий с образцами глин перед проведением испытаний	Влажность, W, %	Плотность, ρ , г/см ³	Плотность сухого грунта, ρ_d , г/см ³	Плотность частиц грунта, ρ_s , г/см ³	Пористость, n, %	Коэффициент пористости, e, д.е.	Степень влажности, S_r , д.е.	Пластичность, Ip, %			Показатель текучести, I_L , д.ед.	Набухание, %	Угол внутреннего трения, φ , °	Удельное сцепление C_u , кПа
									Предел текучести, W_L	пластичности w	пластичности, l				
1	сдвиг в естественном состоянии	6,9	2,49	2,33	2,78	16,2	0,193	0,99	38,4	21,6	16,8	-0,88		44	149
2	образец в естественном состоянии	6,9	2,49	2,33	2,78	16,2	0,193	0,99	38,4	21,6	16,8	-0,88			
	сдвиг при увлажнении $W = W_{ест.} \times 2$	13,9	2,28	2,00	2,78	27,9	0,388	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,46	16,3	31	130
3	образец в естественном состоянии	6,9	2,49	2,33	2,78	16,1	0,192	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,88			
	сдвиг при увлажнении $W = W_{ест.} \times 3,5$	24,0	2,07	1,67	2,78	39,9	0,664	1,00	38,4	21,6	16,8	0,14	39,6	28	53
4	образец в естественном состоянии	6,9	2,49	2,33	2,78	16,2	0,193	0,99	38,4	21,6	16,8	-0,88			
	набухание при $W = W_{ест.} \times 2,5$	17,8	2,19	1,86	2,78	33,1	0,495	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,23	25,3		
	усадка до $W = W_{ест.} \times 1,2$	8,2	2,45	2,27	2,78	18,5	0,227	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,80	2,8		
	набухание и сдвиг при $W = W_{ест.} \times 4,0$	27,7	2,01	1,57	2,78	43,5	0,769	1,00	38,4	21,6	16,8	0,36	48,2	29	34
5	образец в естественном состоянии	6,9	2,49	2,33	2,78	16,2	0,193	0,99	38,4	21,6	16,8	-0,88			
	набухание при $W = W_{ест.} \times 3,8$	26,2	2,03	1,61	2,78	42,2	0,729	1,00	38,4	21,6	16,8	0,27	44,9		
	усадка и сдвиг при $W = W_{ест.}$	7,0	2,49	2,33	2,78	16,2	0,193	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,87	0	29	78
6	образец в естественном состоянии	6,9	2,49	2,33	2,78	16,2	0,193	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,88			
	набухание $W = W_{ест.} \times 4,5$ и сдвиг	31,4	1,95	1,48	2,78	46,6	0,874	0,00	38,4	21,6	16,8	0,58	57,1	10	14

В природном сложении в аргиллитоподобных глинах преобладают переходные контакты, сформированные за счет сил ионно-электростатической природы, когда глинистые частицы под небольшим углом поджаты друг к другу молекулярно гладкими базисными поверхностями при взаимном перекрытии на значительной площади, но не сцементированы между собой. Вокруг частиц присутствует адсорбционный слой воды, не образуя сплошной пленки, а диффузный слой практически отсутствует. Поэтому они имеют высокую плотность и прочность, сопоставимую со скальными породами - аргиллитами.

Образцы серии сдвигов №2 были испытаны при повышенном влагосодержании. Влажность этих образцов была повышена в 2 раза относительно влажности исходных образцов серии сдвигов №1 (далее - исходных образцов) и составила 13,9%. При данном водонасыщении глины набухли на 16%, плотность естественная понизилась до $2,28 \text{ г/см}^3$, плотность сухого грунта - до $2,00 \text{ г/см}^3$, при этом они остались в твердом состоянии ($I_L = (-) 0,46$ д.ед.). Значения угла внутреннего трения и удельного сцепления понизились до значений $\varphi = 31^\circ$, $C = 130 \text{ кПа}$.

С повышением влажности поглощенная глиной вода постепенно разрушает ионно-электростатические связи между агрегатами, микроагрегатами, ультрамикроагрегатами и глинистыми частицами. Это происходит за счёт проникновения воды в межагрегатное и межчастичное пространство, восстановления диффузного слоя воды и возникновения сил ионно-электростатического отталкивания гидратных пленок. В результате угол, под которым контактируют частицы, увеличивается, и начинают формироваться точечные контакты, менее прочные, чем переходные ионно-электростатические за счет меньшей площади взаимодействия [14]. В результате повышения влажности, изменения контактных взаимодействий между агрегатами и частицами и перестройки микроструктуры глин наблюдается понижение их прочностных характеристик.

Влажность образцов серии сдвигов №3 была повышена в 3,5 раза относительно исходной влажности и достигла 24%, величина набухания при этом содержании воды достигла 40%, плотность естественная уменьшилась до $2,07 \text{ г/см}^3$, плотность сухого грунта - до $1,67 \text{ г/см}^3$. Глины достигли полутвердой консистенции и показатель текучести вырос до значения $I_L = 0,14$ д.ед. Угол внутреннего трения φ , который снизился на 13° после первого увлажнения, остался практически неизменным относительно серии образцов №2 и составил 28° , а удельное сцепление стало существенно ниже - 53 кПа. Описанные физико-механические свойства характерны для глин с преобладающим ближним коагуляционным типом контакта между частицами. Контакты такого типа образуются при гидратации глин, достаточной для восстановления диффузного слоя воды (β -пленки) вокруг глинистых частиц. При этом возникают ионно-электростатические силы расклинивающего давления диффузных слоёв. В результате угол, под которым частицы контактируют друг с другом, увеличивается, и точечные контакты разрываются [15]. С этого момента глинистые частицы уже не соприкасаются твердыми поверхностями и взаимодействуют друг с другом посредством тонких гидратных пленок на контакте, что и обуславливает резкое снижение сцепления в 2,5 раза в образцах серии сдвигов №3.

Испытания следующей серии образцов №4 были проведены после циклов набухания и усадки. Опыт был начат с повышения влажности относительно исходной в 2,5 раза до значения 17,8%, при этом плотность естественная понизилась до $2,19 \text{ г/см}^2$, плотность сухого грунта - до $1,86 \text{ г/см}^2$, показатель текучести повысился до (-)0,23 д.ед. и величина набухания при этом составила 25%. После набухания, путем высушивания влажность была снижена до 8,2%, и глины по своим физическим характеристикам приблизились к состоянию исходного образца. Перед проведением испытаний на сдвиг снова было произведено замачивание, при котором влажность, относительно исходной, увеличилась в 4 раза и достигла 27%, плотность естественная уменьшилась до $2,01 \text{ г/см}^2$, плотность скелета - до

1,57 г/см² и глины достигли тугопластичной консистенции при показателе текучести 0,36 д.ед. Величина набухания при этом составила 48%. По результатам испытаний угол внутреннего трения остался практически неизменным ($\varphi = 28^\circ$), а сцепление, по сравнению с результатами двух предыдущих опытов, снизилось до значения 34 кПа. Такое изменение физико-механических характеристик глин объясняется тем, что после цикла набухания и усадки путем высушивания структурные связи между глинистыми частицами все больше ослабляются и не восстанавливаются до исходного состояния, ввиду отсутствия того горного давления и температуры, которые действовали на глину в процессе литогенеза на стадии катагенетических преобразований. Глинистые частицы ориентируются не параллельно друг другу, как это происходит при литогенезе, а остаются переориентированными. Сохраняется та ориентировка частиц, которая сформировалась в процессе набухания. При повторном замачивании энергия расклинивающего давления гидратных пленок уже идет не на разрыв ионно-электростатических связей между частицами и их переориентацию, а на их отталкивание друг от друга, что способствует большему набуханию.

Опыты с образцами серии №5 были проведены с целью определения прочностных характеристик глин после циклов набухания и усадки при их физических свойствах, близких к исходными образцам. В глинах было повышено влагосодержание в 4 раза, после чего влажность повысилась до 26%, плотность естественная понизилась до 2,03 г/см², плотность сухого грунта до 1,61 г/см², глины достигли тугопластичного состояния и показатель текучести составил 0,27 д.ед., глины набухли на 45%. После высушивания при комнатной температуре произошла усадка глин, и их физические характеристики приблизились к исходным показателям глин серии сдвигов №1. Влажность снизилась до 7%, плотность естественная повысилась до 2,49 г/см², плотность сухого грунта - до 2,33 г/см², глины вернулись в твердое состояние при показателе текучести (-) 0,87 д.ед. После усадки, при физических характеристиках схожих с исходными, была произведена серия

сдвигов. Угол внутреннего трения снизился с 44° до 29° , а сцепление снизилось почти в 2 раза с 149 кПа до 78 кПа. Снижение прочностных характеристик в глинах после цикла набухания и усадки объясняется следующим. При гидратации глин происходит разрушение ионно-электростатических связей между частицами. С ростом гидратных пленок происходит переориентация частиц под углом друг другу, формируются точечные, а затем и ближние коагуляционные контакты. При высушивании после набухания гидратные пленки утончаются, глинистые частицы сближаются друг с другом и восстанавливаются точечные контакты, но переориентированная структура глин сохраняется. В межслоевом пространстве минералов с разбухающей кристаллической решеткой остаются молекулы воды, что также препятствует восстановлению первичной структуры. Сопротивление сдвигающему усилию оказывают уже не переходные контакты ионно-электростатической природы, а контакты с меньшей площадью взаимодействия и менее прочные - точечные.

Глины серии образцов № 6 были максимально увлажнены и достигли мягкопластичной консистенции при показателе текучести 0,58 д.ед. Влажность увеличилась до 31%, плотность естественная снизилась до $1,95 \text{ г/см}^3$, плотность сухого грунта - $1,48 \text{ г/см}^3$, набухание составило 57%. Угол внутреннего трения резко снизился до 10° , удельное сцепление понизилось до 14 кПа. Резкое снижение прочностных характеристик обусловлено формированием дальних коагуляционных контактов за счет роста толщины диффузного слоя и отдаления глинистых частиц друг от друга. За счёт этого формируется высокопористая глинистая структура, в которой сила энергетического взаимодействия частиц минимальна. Этот опыт доказывает, что при неограниченном увлажнении прочностные характеристики аргиллитоподобных глин резко снижаются, они теряют устойчивость и несущую способность, при этом проявляя сильное набухание.

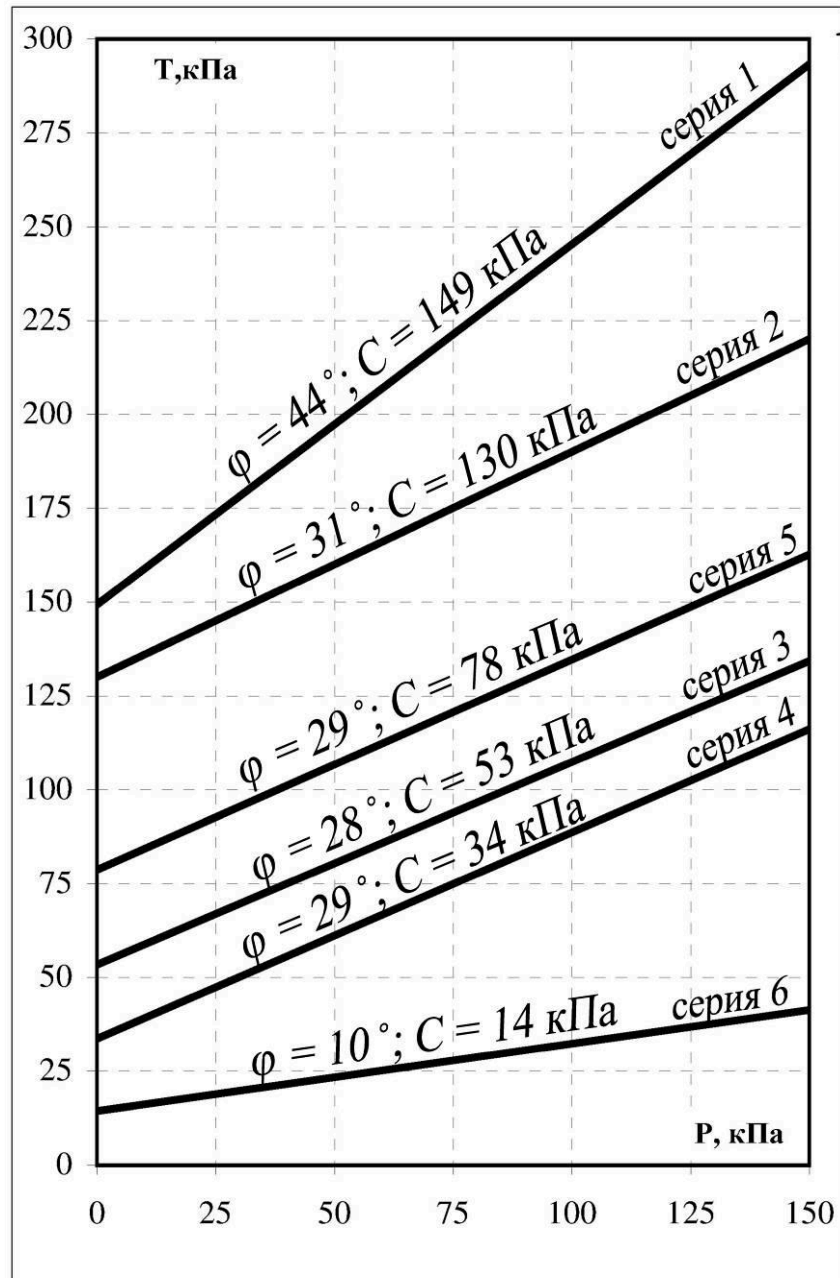


Рис. 22. Изменение прочностных свойств аргиллитоподобных глин при циклическом набухании и усадке.

Серия опытов, проведенных при разной степени влагосодержания глин и после циклов набухания - усадки, показывает, что прочные структурные связи, образовавшиеся в аргиллитоподобных глинах при литогенезе, при гидратации разрушаются и не восстанавливаются. Это ведет к значительному снижению прочностных характеристик глин и, как следствие, уменьшению их устойчивости и несущей способности.

3.3.2. Изменение давления набухания после повторения циклов набухания и усадки

Испытания по циклическому набуханию и усадке проводились в приборах "Controls T0321". Прибор позволяет испытывать образцы диаметром 63,3 мм, высотой 20мм с точностью измерений осевых деформаций - 0,01мм.

Целью проведения испытаний явилось определение изменения давления набухания после проведения нескольких циклов набухания и усадки.

Опыты проводились на пробах ненарушенного сложения, отобранных из створа тоннеля №8 автодороги "Дублер Курортного Проспекта", проходящего в толще аргиллитоподобных глин сочинской свиты. Из отобранных проб изготовлены 3 образца под номерами 8, 8а и 8б диаметром 5,5 см и высотой 2,0см. Образцы были помещены в цилиндрическую форму большего диаметра и по окружающим их зазорам были залиты цементным раствором, после высыхания которого образец зажимался в прочное недеформируемое бетонное кольцо, что исключало любые продольные деформации. Подготовленные к испытаниям образцы помещались в компрессионные приборы. К ним через нижний перфорированный штамп подавалась вода. При первом проявлении набухания оно компенсировалось противодействующим давлением через верхний штамп. Опыт проводился до полной остановки набухания при заданном давлении, которое принималось за величину давления набухания P_n . Результаты испытаний и физические характеристики образцов приведены в таблице 4 и на рисунке 23.

В исходном состоянии образцы имели следующие основные физические характеристики: влажность от 2,9 до 5,6%; плотность естественная от 2,48 до 2,51 г/см²; плотность сухого грунта от 2,35 до 2,42 г/см²; число пластичности от 12,0 до 21,4%; показатель текучести от (-)0,97 до (-)1,43 д.ед.

Таблица 4

Изменение величины давления набухания после повторения циклов набухания и усадки

Цикл набухания и усадки	Влажность, W, %	Плотность, ρ , г/см ³	Плотность сухого грунта, ρ_d , г/см ³	Плотность частиц грунта, ρ_s , г/см ³	Пористость, n, %	Коэффициент пористости, e, д.е.	Степень влажности, S_r , д.е.	Число пластичности, I_p	Показатель текучести, I_L , д.е.	Набухание, %	Давление набухания, P_n , МПа
Образец № 8											
природный	5,6	2,48	2,35	2,70	13,1	0,151	1,00	12,0	-1,43		
набухание 1	17,8	2,15	1,82	2,70	32,5	0,482	1,00	12,0	-0,41	28,8	0,023
усадка	9,8	2,00	1,82	2,70	32,5	0,482	0,55	12,0	-1,09		
набухание 2	19,2	2,12	1,78	2,70	34,2	0,519	1,00	12,0	-0,30	32,0	0,042
усадка	6,9	1,90	1,78	2,70	34,2	0,519	0,36	12,0	-1,33		
набухание 3	19,9	2,11	1,76	2,70	34,9	0,536	1,00	12,0	-0,24	33,5	0,127
усадка	12,4	1,98	1,76	2,70	34,9	0,536	0,62	12,0	-0,87		
набухание 4	20,7	2,09	1,73	2,70	35,9	0,559	1,00	12,0	-0,17	35,5	0,159
набухание 5	22,6	2,05	1,68	2,70	37,9	0,611	1,00	12,0	-0,02	40,0	0,011
Образец № 8а											
природный	5,6	2,51	2,38	2,73	12,9	0,145	1,00	17,3	-1,11		
набухание 1	20,2	2,10	1,74	2,73	36,1	0,548	1,00	17,3	-0,25	34,5	0,032
усадка	10,7	1,93	1,74	2,73	36,1	0,548	0,53	17,3	-0,80		
набухание 2	21,4	2,08	1,71	2,73	37,3	0,577	1,00	17,3	-0,18	37,0	0,042
усадка	13,2	1,94	1,71	2,73	37,3	0,577	0,62	17,3	-0,65		
набухание 3	22,4	2,06	1,68	2,73	38,4	0,605	1,00	17,3	-0,12	39,5	0,059
усадка	14,1	1,92	1,68	2,73	38,4	0,605	0,63	17,3	-0,60		
набухание 4	23,5	2,04	1,65	2,73	39,5	0,634	1,00	17,3	-0,06	42,0	0,127
усадка	15,5	1,91	1,65	2,73	39,5	0,634	0,66	17,3	-0,52		
набухание 5	24,0	2,03	1,64	2,73	39,9	0,646	1,00	17,3	-0,03	43,0	0,169
набухание 6	26,0	2,00	1,59	2,73	41,9	0,703	1,00	17,3	0,09	48,0	0,011
Образец № 8б											
природный	2,9	2,49	2,42	2,74	11,7	0,165	0,98	21,4	-0,97		
набухание 1	14,8	2,21	1,93	2,74	29,7	0,401	1,00	21,4	-0,55	21,8	0,042
усадка	7,0	2,06	1,93	2,74	29,7	0,401	0,47	21,4	-0,92		
набухание 2	15,0	2,21	1,92	2,74	29,8	0,404	1,00	21,4	-0,54	22,0	0,106
усадка	8,3	2,08	1,92	2,74	29,8	0,404	0,56	21,4	-0,85		
набухание 3	15,2	2,21	1,92	2,74	30,1	0,410	1,00	21,4	-0,53	22,5	0,169
набухание 4	28,4	1,96	1,53	2,74	44,2	0,766	1,00	21,4	0,09	53,5	0,013

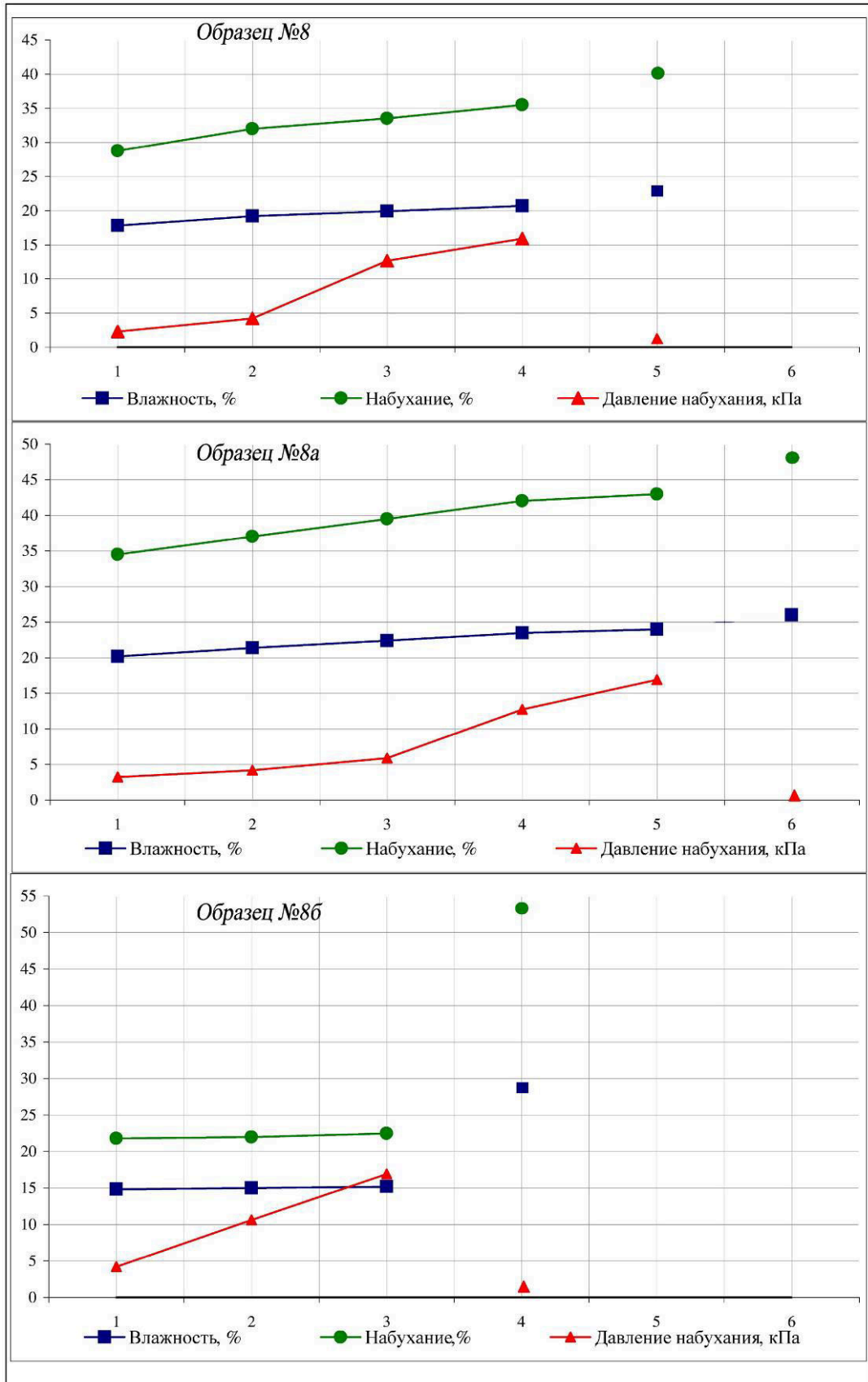


Рис. 23. Изменение величины набухания, давления набухания и влажности аргиллитоподобных глин при их циклическом набухании.

На рисунке 23 отображена зависимость величины набухания и давления набухания от влажности образцов при каждом последующем цикле набухания и усадки. Всего по образцам было проведено от 4 до 6 циклов набухания после усадки, которые на графиках отмечены порядковыми номерами от 1 до 6.

При первом замачивании глины начали активно впитывать воду, и у всех трех образцов влажность повысилась до значений 14,8 - 20,2%, глины набухли на 20 - 35%, давление набухания составило 0,023 - 0,042 МПа.

После первого замачивания у образца №8 влажность увеличилась в 3 раза относительно первоначального состояния, набухание составило 29%, давление набухания - 0,023 МПа, при показателе текучести (-)0,41 д.ед. После усадки при повторении набухания во втором цикле влажность незначительно увеличилась на 1,4%, по сравнению с влажностью после первого набухания, и стала равной 19,2%, величина набухания также увеличилась не намного - на 3%. При этом давление набухания выросло почти в два раза до значения 0,042 МПа. На третьем цикле набухания после усадки давление набухания сильно возрастает по сравнению с первым и вторым циклами и становится равным 0,127 МПа, при этом влажность остаётся практически неизменной - 19,9%. На протяжении трех циклов набухания и усадки на фоне устойчивого колебания влажности в пределах 18-20% и линейно возрастающего набухания 28,8 - 33,5%, давление набухания резко увеличивается в 5,5 раз. Своего максимального значения оно достигает на четвертом цикле набухания после усадки - 0,159 МПа при влажности 20,7% и величине набухания 35,5%. Здесь снова прослеживается зависимость увеличения давления набухания при небольшом изменении влажности и величины набухания, но теперь не так резко, как после 3-го цикла. На протяжении всех четырех циклов набухания и усадки глины находились в твердом состоянии с показателем текучести от (-)0,88 до (-)0,17 д.ед. На пятом цикле набухания после усадки при повышении влажности до 22,6% глины приблизились к полутвердому состоянию, и

показатель текучести составил (-)0,02 д.ед. Величина набухания выросла до 40%, а давление набухания резко упало до 0,011 МПа. После высушивания и усадки при комнатной температуре во всех трех циклах влажность была выше, чем у исходного образца.

В образце №8а на протяжении первых трех циклов набухания и усадки не наблюдалось резкого повышения давления набухания, которое линейно увеличивалось от 0,032 до 0,059 МПа. Влажность при этом увеличивалась от 20,2% после первого цикла и 22,4% после третьего, величина набухания соответственно - от 34,5 до 39%, консистенция оставалась твердой при показателе текучести от (-) 0,25 до (-) 0,12 д.ед. Увеличение показателей происходило практически прямо пропорционально, что можно проследить на графике (рис. 23). Интенсивный рост давления набухания произошел во время 4-го и 5-го циклов набухания после усадки. На фоне постепенного линейного увеличения влажности от 23,5 до 24,0% и набухания от 42 до 43%, давление набухания выросло в 2-3 раза по сравнению с 3-м циклом до величин 0,127 и 0,169 МПа. Резкое снижение давления набухания до 0,011 МПа и рост набухания до 48% наблюдается после 6-го цикла, когда влажность увеличилась до 26% и глина перешла из твердого в полутвердое состояние при показателе текучести равном 0,09 д.ед.

Поведение образца №8б при проведении циклов набухания и усадки проявляет схожую зависимость между влажностью, величиной набухания и давлением набухания, которая прослеживается у двух предыдущих образцов глин, но при этом имеет свои особенности. При первом замачивании глина проявляет давление набухания равное 0,042 МПа - больше, чем у двух предыдущих образцов, которые достигли точно такого же давления только на втором и третьем цикле набухания после усадки. Далее, уже на втором и третьем циклах, при незначительных разнице во влажности (15,0-15,2%) и величине набухания (20,0-22,5%), резко возрастает давление набухания и к третьему циклу достигает своего максимума в 0,169 МПа. Но при повышении влажности до 28,4% и переходе в полутвердое состояние с показателем

текучести 0,09 д.ед., давление набухания резко снижается до 0,013 МПа, а величина набухания достигает 53,5%.

У всех трех образцов были схожие физические характеристики. Давление набухания тоже колебалось в небольшом интервале от 0,159 МПа (образец №8) до 0,169 МПа (образцы №8а и №8б). Глины отличались по числу пластичности, которое у образца №8 составляло 12%, у образца №8а - 17,3%, у образца №8б - 21,4%. Это отличие отразилось на следующих параметрах: влажности; давлении набухания при первом замачивании; величине набухания после последних циклов, когда давление набухания резко падало; на соотношении влажности и давления набухания. Рост набухания прямо пропорционален увеличению дисперсности глин. За счет большей площади удельной поверхности, образованной суммарной площадью глинистых частиц, глины способны впитывать больше воды, которая распределяется по поверхностям глинистых частиц в виде гидратных пленок и проникает в межслоевое пространство минералов с разбухающей кристаллической решеткой группы иллита и смешанослойных. Сила расклинивающего давления гидратных пленок возрастает. По этим причинам в образцах с увеличением глинистости увеличивается давление набухания после первого цикла набухания и величина набухания. Наряду с этим, для достижения величин давления набухания как у образцов №8 и №8а с числами пластичности 12,0% и 17,0% соответственно, образцу глины под номером 8б достаточно 15% воды вместо 22,6 и 26%. Влажность максимального давления набухания у образцов глины №8 и №8а составила соответственно 20,7% и 24,0%, у образца глины № 8б несколько меньше - 15,2%.

Минимальные величины давления набухания при первом замачивании глин обусловлены тем, что энергия ионно-электростатического отталкивания растущих гидратных пленок затрачивается на разрыв переходных ионно-электростатических контактов между агрегатами, микроагрегатами, ультрамикроагрегатами и глинистыми частицами и переориентацию частиц

под разными углами друг к другу. После усадки в глинах сохраняется структура, переориентированная в результате первого набухания. В глинах уже появились точечные контакты с меньшей площадью взаимодействия между глинистыми частицами, чем у переходных ионно-электростатических. Но при первом набухании не все относительно прочные контакты были разрушены гидратацией. При повторных циклах набухания после усадки разрушаются те контакты, которые при первом замачивании сохранились. Рост давления набухания с каждым последующим циклом обусловлен тем, что молекулы воды продолжают проникать в оставшуюся часть свободного межагрегатного и межчастичного пространства, все меньше энергии тратится на разрыв и переориентацию частиц, и все больше энергии уходит на ионно-электростатическое отталкивание частиц друг от друга. При этом рост давления набухания обусловлен увеличением толщины гидратных пленок вокруг частиц в процессе повышения влажности и увеличением удельной поверхности глин, за счет чего возрастает общая площадь ионно-электростатического взаимодействия частиц и энергия глинистой системы в целом.

С ростом диффузного слоя и удалением частиц друг от друга сила, с которой отталкиваются частицы друг от друга (расклинивающее давление гидратных пленок), уменьшается и при достижении тугопластичного состояния при максимальной толщине гидратных пленок давление набухания резко падает и не превышает 0,011-0,013 МПа.

3.3.3. Зависимость изменения скорости прохождения

ультразвуковых волн от влажности и величины набухания.

Целью исследований явилось определение зависимости скорости прохождения ультразвуковых волн в аргиллитоподобных глинах сочинской свиты от их влажности и величины набухания.

Исследования проводились на пробах, отобранных из тоннеля № 6 автодороги "Дублер Курортного Проспекта". Для проведения испытаний из

проб аргиллитоподобных глин изготовлено 2 образца диаметром 5,5 и высотой 4 см, вырезанных вдоль и поперек слоистости. Образцы помещены в металлические сдвиговые кольца и тщательно заторцованы. Измерение величины свободного набухания глин во время замачивания проводилось в приборе набухания грунта Васильева с помощью индикатора часового типа. Скорость прохождения ультразвуковых волн измерялась с помощью прибора - генератора ультразвуковых волн "Пульсар 1.2" (рис. 24).

Один из двух датчиков закреплялся вертикально на столе, на датчик размещалось кольцо с грунтом, на кольцо устанавливается второй датчик, а сверху второго датчика устанавливалась гиря весом 2 килограмма для создания постоянного прижимающего давления (рис. 24). После измерения кольцо с грунтом взвешивалось и вновь помещалось в прибор набухания.

Результаты измерения скорости прохождения ультразвуковых волн приведены в таблице 5.

Первое измерение скорости прохождения ультразвуковых волн проводилось на образцах природной влажности 6,9%, плотности 2,49 г/см³. Скорость ультразвука в образце, вырезанном поперек слоистости, составила 2280 м/сек, вдоль слоистости - 2200 м/сек. После начала опыта (замачивания образцов) измерения проводились через 1,5 часа. В обоих образцах влажность увеличилась до 8,5%, глины практически не набухли (0,43%), при этом скорость резко повысилась до 2658 м/сек в образце, вырезанном поперек слоистости и 2466 м/сек - вдоль слоистости (рис. 25). Через 3 часа после начала опыта в обоих образцах скорость ультразвука снизилась, но при этом не достигла исходных значений. Влажность практически не изменилась и составила 8,4 и 8,9%, а набухание выросло до 1%.



Рис. 24. Прибор - генератор ультразвука "Пульсар 1.2"

Резкое увеличение скорости ультразвуковых волн объясняется возникновением внутренних напряжений после замачивания глин и смыканием существующих макро- и микротрещин. Вода уже проникла в глину, заполнила поры и трещины, и начался процесс частичного восстановления диффузного слоя, часть молекул воды которого проникает в межслоевые промежутки минералов с разбухающими кристаллическими решетками. Ионно-электростатические связи между глинистыми частицами начинают разрушаться. Силы расклинивающего давления адсорбционных пленок воды (α - пленок) стремятся отдалить частицы друг от друга.

Результаты изменения скорости прохождения ультразвуковых волн

Интервал, час	Влажность, W, %	Плотность, ρ , г/см ³	Плотность сухого грунта, ρ_s , г/см ³	Плотность частиц грунта, ρ_s , г/см ³	Пористость, n, %	Коэффициент пористости, e, д.е.	Степень влажности, S_r , д.е.	Пластичность, %			Показатель текучести, I_L , д.ед.	Набухание, %	Скорость ультразвуковых волн, м/сек
								Предел текучести, W_L	Предел пластичности	Число пластичности, I_p			
4	13	14	15	19		20	21	22	23	24	25	26	28
Измерение скорости ультразвуковых волн поперек слоистости, образец №6													
0,0	6,9	2,49	2,33	2,78	19	0,194	0,99	38,4	21,6	16,8	-0,88	0,00	2280,50
0,8	8,5	2,52	2,52	2,78	10	0,105	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,78	0,43	2658,64
3,7	8,9	2,51	2,31	2,78	21	0,206	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,76	1,01	2407,93
6,3	9,0	2,50	2,30	2,78	21	0,211	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,75	1,48	2257,51
11,8	9,4	2,50	2,29	2,78	22	0,216	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,72	1,90	2194,94
14,8	9,5	2,50	2,28	2,78	22	0,218	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,72	2,05	2154,09
20,3	9,9	2,50	2,27	2,78	22	0,223	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,69	2,50	2152,23
38,4	10,5	2,48	2,25	2,78	24	0,238	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,66	3,75	2152,49
43,8	10,6	2,48	2,24	2,78	24	0,240	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,66	3,88	2147,29
67,3	10,8	2,47	2,23	2,78	25	0,246	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,64	4,44	2135,74
209,8	11,6	2,42	2,17	2,78	28	0,283	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,59	7,50	2057,49
241,5	12,4	2,43	2,16	2,78	28	0,285	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,55	7,62	1998,61
334,3	12,8	2,43	2,15	2,78	29	0,292	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,52	8,27	2103,45
402,8	13,1	2,42	2,14	2,78	30	0,297	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,51	8,70	1989,02
840,0	14,8	2,43	2,12	2,78	31	0,313	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,41	9,98	1950,78
Измерение скорости ультразвуковых волн вдоль слоистости, образец №6													
0,0	6,9	2,49	2,33	2,78	19	0,194	0,99	38,4	21,6	16,8	-0,88	0,00	2200,22
1,4	8,6	2,52	2,32	2,78	20	0,198	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,78	0,40	2466,83
3,1	8,5	2,50	2,31	2,78	21	0,206	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,78	1,03	2225,22
5,7	8,9	2,50	2,30	2,78	21	0,209	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,75	1,33	2089,18
11,2	9,3	2,50	2,29	2,78	21	0,214	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,73	1,75	2052,45
14,2	9,5	2,50	2,29	2,78	22	0,216	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,72	1,93	2043,61
19,8	9,7	2,50	2,28	2,78	22	0,220	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,71	2,20	2046,05
37,9	10,4	2,50	2,26	2,78	23	0,229	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,67	3,00	2090,31
43,3	10,5	2,50	2,26	2,78	23	0,230	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,66	3,08	2092,89
66,8	10,7	2,49	2,25	2,78	24	0,237	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,65	3,66	2087,81
209,2	11,5	2,45	2,20	2,78	26	0,264	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,60	5,95	2048,28
241,0	11,8	2,46	2,20	2,78	27	0,266	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,58	6,05	1963,89
333,7	12,1	2,46	2,19	2,78	27	0,269	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,56	6,35	2018,98
406,9	12,6	2,46	2,19	2,78	27	0,270	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,54	6,38	1983,68
839,5	13,5	2,46	2,16	2,78	28	0,284	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,48	7,60	1916,30

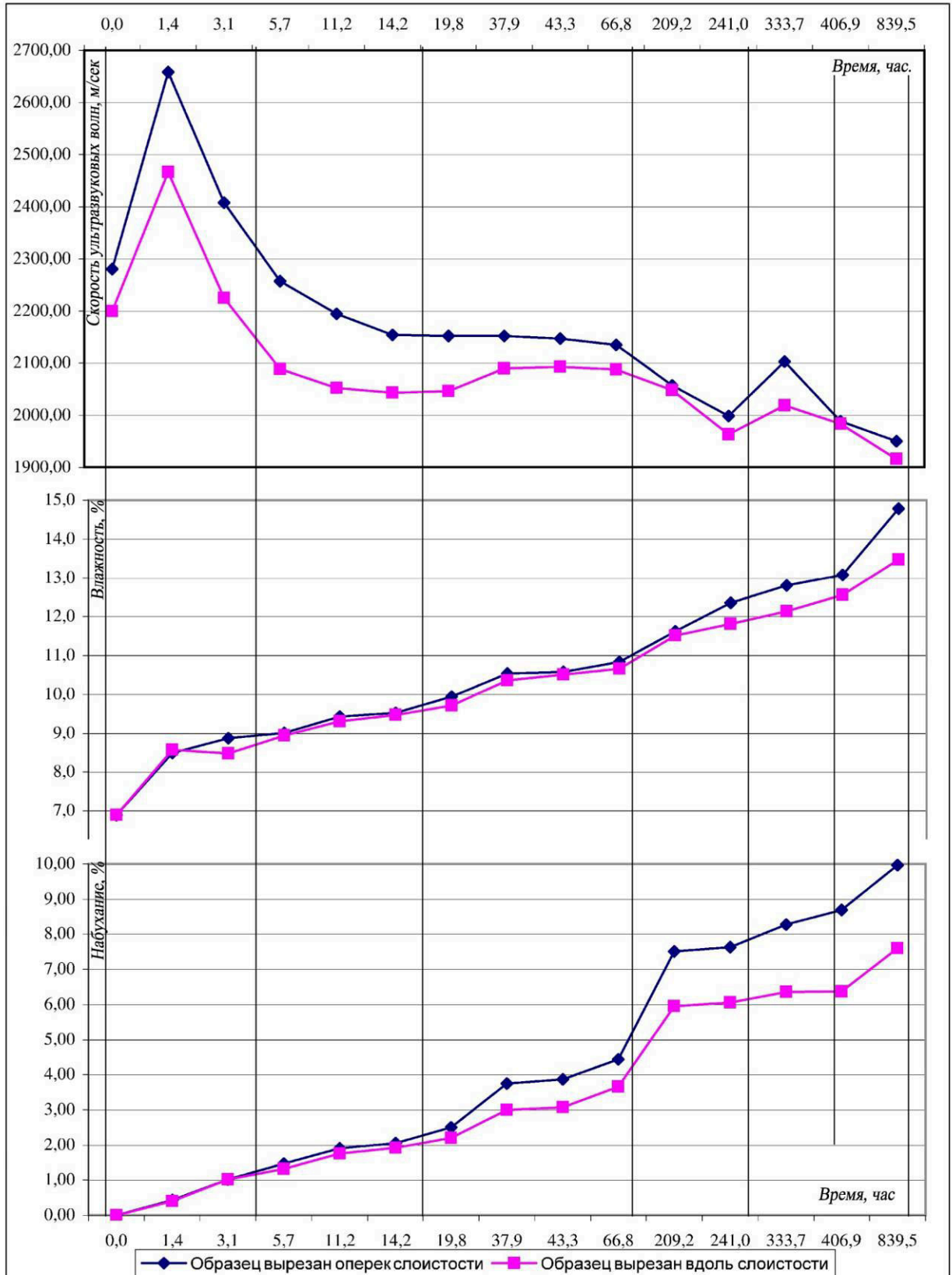


Рис. 25. Изменение скорости прохождения ультразвуковых волн от влажности и величины набухания глин.

Спустя пять часов со времени начала опыта скорости ультразвука начинают уменьшаться до 2257 м/сек. поперек и 2225 м/сек вдоль слоистости и становятся ниже исходных. В интервале измерений от 5 до 14 часов плотность глин снижается на фоне линейного увеличения влажности до 9,5% и равномерного роста величины набухания до 2,0 и 2,2%. Скорости ультразвука в этом интервале снижаются до 2154 м/сек и 2043 м/сек соответственно.

В интервале измерений от 14 до 67 часов скорости ультразвуковых волн поперек слоистости прекращают свое снижение и держатся на одном уровне от 2152 до 2135 м/сек., а скорости вдоль слоистости повышаются до 2046 - 2092 м/сек. При этом влажность у первого и второго образцов увеличилась до 10,7%, величина набухания до 4,4 и 3,7%. В этом интервале времени отмечается более интенсивный рост набухания на фоне плавного повышения влажности.

В интервале времени от 70 до 240 часов наблюдается плавный рост набухания до 7,6 и 6,5% на фоне повышения влажности до 12,4 и 11,8%. Скорость ультразвуковых волн падает до 1998 м/сек поперек слоистости и 1963 м/сек вдоль слоистости, что говорит о снижении плотности образцов глин.

В интервале времени от 241 до 406 часов вновь скорости прохождения ультразвуковых волн повышаются до 2103 м/сек. и 2018 м/сек. Если в предыдущем интервале повышение влажности на 1,6 и 1,1% компенсировалось ростом набухания на 3,2 и 2,4%, то в описываемом интервале при повышении влажности на 0,7 и 0,9%, глины набухли на 1,1 и 0,3%. Увеличение влажности в образцах глин отразилось на повышении скорости ультразвуковых волн.

В конце опыта влажность поднялась до 14,8 и 13,5%, и величина набухания составила 10,0 и 7,8% соответственно. Скорости прохождения ультразвуковых волн снизились до 1950 м/сек поперек слоистости и 1916 м/сек вдоль слоистости.

Изменение скоростей прохождения ультразвуковых волн в аргиллитоподобных глинах связано с заполнением пор и микротрещин водой и изменением их плотности.

Глины неоднородны по своей структуре и разбиты разноориентированной сетью скрытых трещин, разделяющих их на отдельности округлой и угловатой формы, с отличной от всего объема плотностью и структурой. На рисунке 26 показаны отдельности, на которые распался образец после проведения испытаний. Неоднородность структуры также обуславливает неравномерное набухание глин и отражается в колебаниях скорости прохождения ультразвуковых волн.



Рис. 26. Отдельности, на которые распался образец по системе внутренних скрытых трещин.

3.3.4. Зависимость величины набухания от вертикальной нагрузки во времени.

Испытания, целью которых явилось определение величины набухания под заданными нагрузками, проводились в приборах компрессионного сжатия "Controls T0321". Для проведения испытаний отобраны пробы из створа тоннеля №8 автодороги "Дублер Курортного Проспекта", проходящего в толще аргиллитоподобных глин сочинской свиты. Из отобранных проб изготовлены 3 образца под номерами 8, 8а и 8б диаметром 5,5 см и высотой 2,0 см. Подготовленные к испытаниям образцы помещались в компрессионные приборы. Начальная ступень вертикальной сжимающей нагрузки, передаваемой на образцы через верхний штамп, составляла 1,7 кг/см². Подача воды к образцам производилась через нижний перфорированный штамп. Измерения величины относительного набухания проводились с помощью индикаторов часового типа с точностью до 0,01 мм.

В таблице 6 приведены физические характеристики глин из образцов №№ 8, 8а и 8б и величина набухания во времени в зависимости от прилагаемой к образцам вертикальной нагрузки. На первом графике (рис. 27) отражена зависимость роста величины набухания от вертикальной нагрузки во времени, на втором графике (рис. 28) - зависимость величины набухания от нагрузки. Общая длительность проведения опытов составила 85 суток.

В природном сложении образцы имели следующие основные физические характеристики: влажность от 5,3 до 5,9%; плотность естественная от 2,48 до 2,51 г/см²; плотность сухого грунта от 2,35 до 2,38 г/см²; число пластичности от 12,0 до 21,4%; показатель текучести от (-) 0,97 до (-) 1,43 д.ед.

Величина вертикальной нагрузки и время изменения нагрузок для каждого образца подбирались в процессе испытаний, исходя из интенсивности процесса набухания. Уменьшение вертикальной нагрузки на образец производилось при снижении интенсивности набухания.

Физические характеристики аргиллитоподобных глин и величина набухания под нагрузкой во времени

Время, сутки	Влажность, W, %	Плотность, ρ , г/см ³	Плотность сухого грунта, ρ_d , г/см ³	Плотность частиц грунта, ρ_s , г/см ³	Пористость, n, %	Коэффициент пористости, e, д.е.	Степень влажности, S_r , д.е.	Пластичность, I_p , %			Показатель текучести, I_L , д.е.	Набухание, %	Нагрузка, кг/см ²
								Предел текучести, W_L	Предел пластичности W_p	Число пластичности, I_p			
Образец № 8													
0	5,6	2,48	2,35	2,70	13,0	0,150	1,00	34,8	22,8	12,0	-1,43	0,0	0,170
15	7,3	2,42	2,25	2,70	16,5	0,198	1,00	34,8	22,8	12,0	-1,29	4,0	0,170
23	8,1	2,39	2,21	2,70	18,1	0,222	1,00	34,8	22,8	12,0	-1,23	6,0	0,085
31	9,0	2,36	2,16	2,70	19,9	0,249	1,00	34,8	22,8	12,0	-1,15	8,0	0,043
45	10,4	2,33	2,11	2,70	22,0	0,282	1,00	34,8	22,8	12,0	-1,03	11,5	0,021
73	11,7	2,29	2,05	2,70	24,0	0,316	1,00	34,8	22,8	12,0	-0,93	14,5	0,011
85	12,5	2,27	2,02	2,70	25,2	0,338	1,00	34,8	22,8	12,0	-0,86	16,4	0,000
Образец № 8а													
0	5,3	2,51	2,38	2,73	12,7	0,145	1,00	41,8	24,5	17,3	-1,11	0,0	0,169
8	5,9	2,49	2,35	2,73	13,8	0,147	1,00	41,8	24,5	17,3	-1,08	1,3	0,169
10	5,9	2,49	2,35	2,73	14,0	0,150	1,00	41,8	24,5	17,3	-1,08	1,4	0,127
22	7,2	2,44	2,28	2,73	16,5	0,185	1,00	41,8	24,5	17,3	-1,00	4,5	0,042
31	7,9	2,41	2,23	2,73	18,2	0,209	1,00	41,8	24,5	17,3	-0,96	6,1	0,011
85	9,8	2,37	2,16	2,73	21,0	0,252	1,00	41,8	24,5	17,3	-0,85	10,5	0,000
Образец № 8б													
0	5,9	2,49	2,35	2,74	14,2	0,165	0,98	48,0	26,6	21,4	-0,97	0,0	0,166
8	6,5	2,46	2,31	2,74	15,7	0,170	1,00	48,0	26,6	21,4	-0,94	1,4	0,166
15	7,5	2,43	2,26	2,74	17,4	0,194	1,00	48,0	26,6	21,4	-0,89	4,0	0,083
22	8,3	2,39	2,21	2,74	19,3	0,222	1,00	48,0	26,6	21,4	-0,86	5,8	0,041
31	9,4	2,36	2,15	2,74	21,4	0,254	1,00	48,0	26,6	21,4	-0,80	8,7	0,021
45	10,4	2,33	2,11	2,74	22,9	0,277	1,00	48,0	26,6	21,4	-0,76	11,0	0,010
85	11,7	2,30	2,06	2,74	24,9	0,313	1,00	48,0	26,6	21,4	-0,69	14,3	0,000

При нагрузке 1,7 кг/см² глины проявляли разную интенсивность и величину набухания. Глины в образце № 8 на протяжении 15-ти суток проявляли устойчивый рост набухания, которое достигло величины 4,0%.

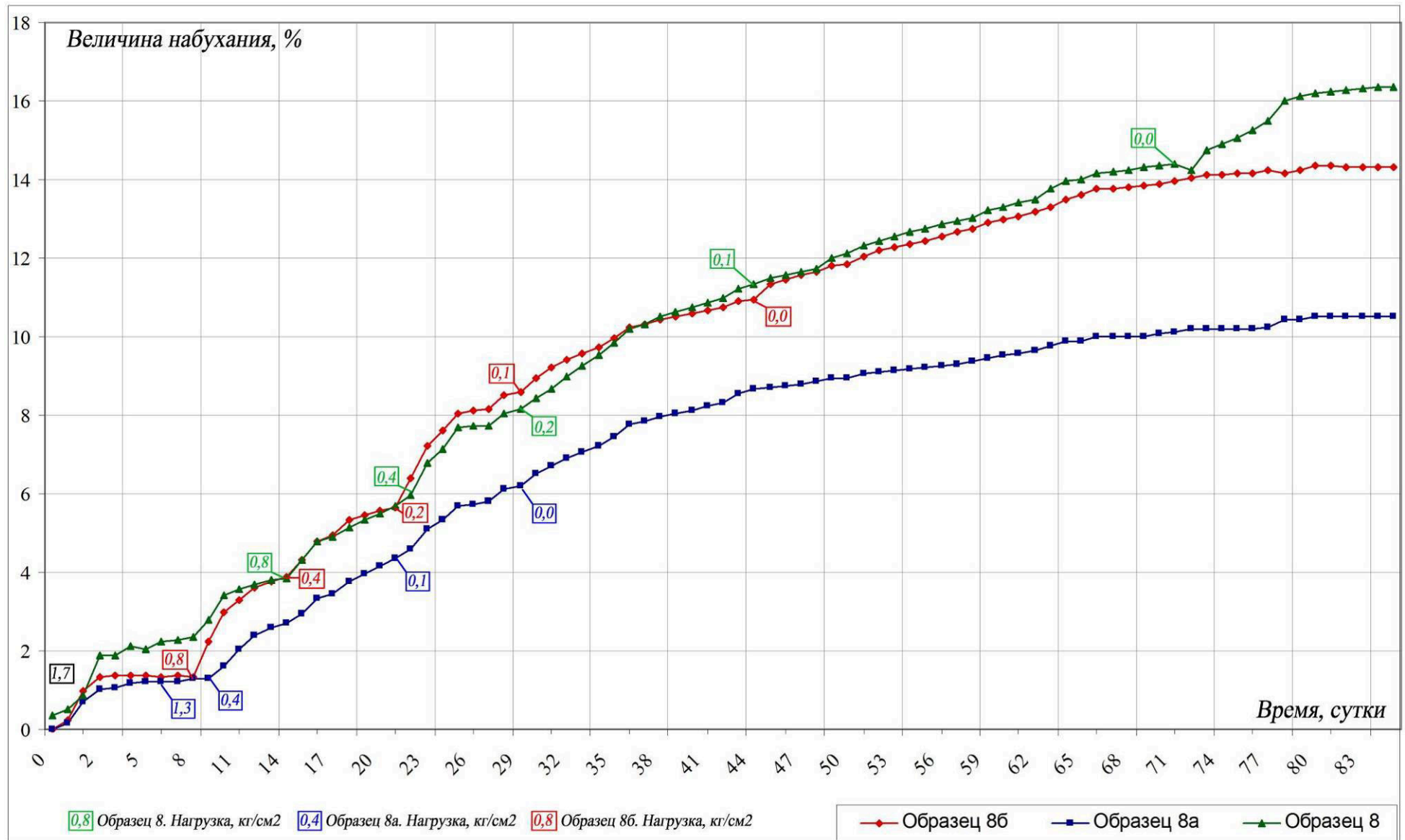


Рис. 27. Зависимость роста величины набухания аргиллитоподобных глин от нагрузки во времени.

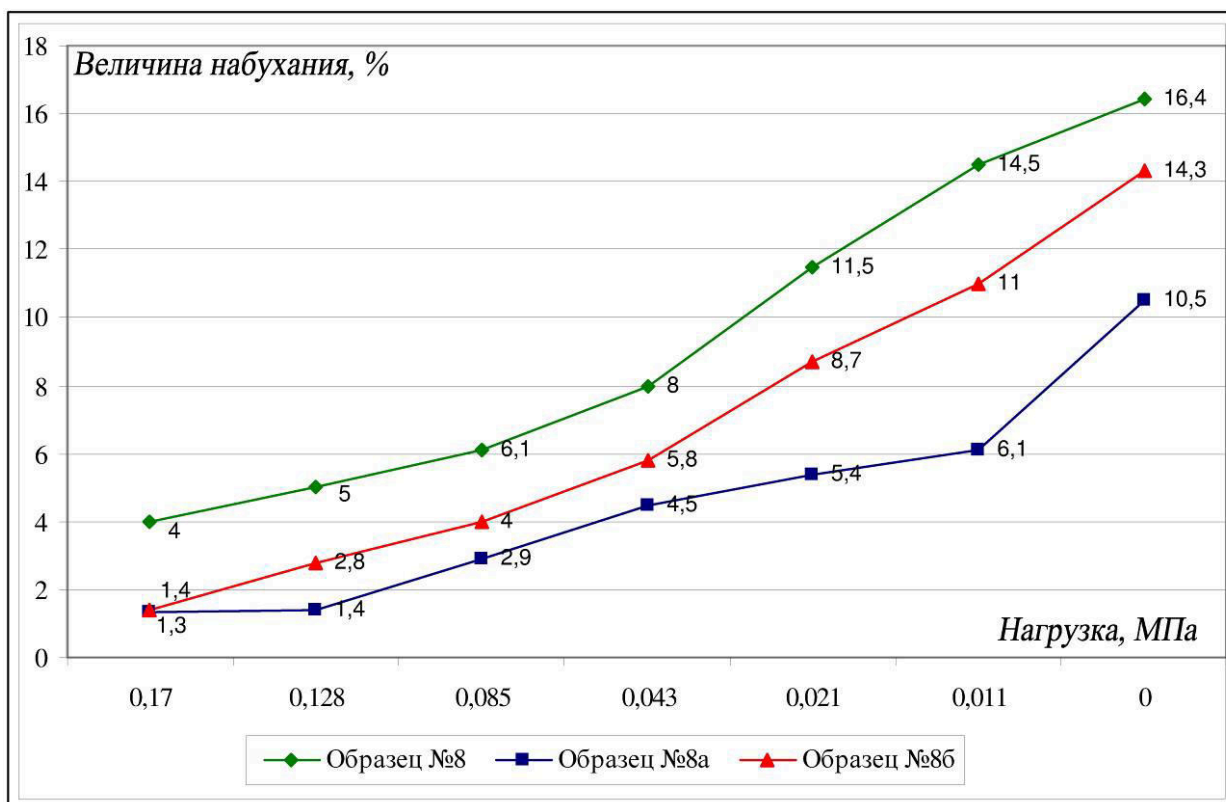


Рис. 28. Зависимость величины набухания от нагрузки.

Глины в образцах под номерами 8а и 8б в первые 15 суток проявляли меньшую интенсивность и величину набухания (1,3% и 1,9%) при тех же нагрузках в $1,7 \text{ кг/см}^2$ и нагрузки были постепенно снижены до $0,08 \text{ кг/см}^2$ (8б) и $0,04 \text{ кг/см}^2$ (8а). После уменьшения нагрузок на 8-10 день после начала испытаний рост набухания возобновился.

Глины из образца №№ 8 и 8б при вертикальном давлении $0,4 \text{ кг/см}^2$ на 23-й день после начала опыта достигли величины набухания 6,1 и 5,8%, в то время как образец № 8а при давлении всего $0,1 \text{ кг/см}^2$ набух на 4,5%. На 45-й день после начала опыта величина набухания в образцах №№ 8 и 8б при вертикальном давлении $0,1$ и $0,2 \text{ кг/см}^2$ достигла 11,5 и 11,0%. Набухание глин в образце №8 без вертикальной нагрузки составило 16,3%, в образце №8б - 14,3%. Меньшую интенсивность и величину набухания проявляли глины в образце №8а. При меньших давлениях, равных $0,4$ и $0,1 \text{ кг/см}^2$, глины набухли на 6,1%

Опыт показывает, что во время действия вертикальной нагрузки величиной $1,7 \text{ кг/см}^2$ при замачивании глины проявляют набухание, величина и интенсивность которого возрастает при уменьшении давления.

3.3.5. Изменение деформационных свойств при циклическом набухании

Деформационные характеристики аргиллитоподобных глин в природном сложении и после циклов набухания и усадки определялись в приборе трехосного сжатия типа СТ-70 с автоматической регистрацией параметров деформации. Конструкция прибора позволяет: испытывать образцы грунтов диаметром до 7,2 – 9,0 см и высотой до 18 см; прикладывать к образцу объемное давление до 0,7 МПа; нагружать образец ступенчато или непрерывно увеличивающейся центрированной осевой нагрузкой; организовывать одностороннее или двухстороннее дренирование образца.

Для проведения испытаний были отобраны пробы аргиллитоподобных глин из тоннелей №6 и №8 автодороги "Дублер Курортного Проспекта", из которых изготовлены цилиндрические образцы диаметром от 7,0 до 7,2 см и высотой от 12 до 16 см, вырезанные при помощи фрезы. Образцы № 6 и №6а вырезаны из одной пробы поперек (№6) и вдоль (№6а) слоистости, а образец №8 вырезан из другой пробы поперек слоистости.

По результатам испытаний во всех образцах наблюдается прямая зависимость уменьшения модуля деформации с увеличением влажности и величины набухания аргиллитоподобных глин (табл. 7 и рис. 29). Модуль деформации глин рассчитывался в интервале линейного деформирования.

При увеличении влажности до 18 - 20 % глины набухают на 10 - 20%, при этом модуль деформации уменьшается до 10 - 19 МПа. После цикла усадки и набухания влажность увеличивается до 26 - 27 %, набухание возрастает до 45 - 50%. Модуль деформации снижается до 4,7 - 5,2 МПа. При повторном замачивании влажность повышается до 29 - 30%, набухание увеличивается до 51 - 58% и модуль деформации составляет 2,0 - 4,0 МПа.

Таблица 7.

Результаты испытаний в трехосном приборе после циклов набухания и усадки

Краткое описание опыта	Влажность, W, %	Плотность, ρ, г/см ³	Плотность сухого грунта, ρ _d , г/см ³	Плотность частиц грунта, ρ _s , г/см ³	Пористость, n, %	Коэффициент пористости, e, д.е.	Степень влажности, S _r , д.е.	Пластичность I _p , %			Показатель текучести, I _L , д.ед.	Набухание, %	Модуль деформации грунта, МПа
								Предел текучести, W _L	Предел пластичности, W _p	Число пластичности, I _p			
Образец №6													
при природной влажности	6,9	2,49	2,33	2,78	16,3	0,194	0,99	38,4	21,6	16,8	-0,88		54,4
после набухания	17,1	2,21	1,89	2,78	32,2	0,474	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,27	23,4	
сжатие после набухания	15,8	2,22	1,92	2,78	31,0	0,449	0,98	38,4	21,6	16,8	-0,35		10,5
усадка после набухания	8,1	2,45	2,27	2,78	18,4	0,226	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,80	2,6	
набухание, затем сжатие	26,3	2,03	1,60	2,78	42,3	0,734	1,00	38,4	21,6	16,8	0,28	45,2	4,7
набухание после сжатия, затем повторно сжатие	28,8	1,99	1,54	2,78	44,5	0,800	1,00	38,4	21,6	16,8	0,43	50,7	4,0
Образец №6а													
при природной влажности	6,9	2,49	2,33	2,78	16,1	0,194	0,99	38,4	21,6	16,8	-0,88		54,4
после набухания	18,7	2,17	1,83	2,78	34,3	0,523	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,17	27,7	
сжатие после набухания	17,9	2,18	1,85	2,78	33,6	0,507	0,98	38,4	21,6	16,8	-0,22		15,9
усадка после набухания	8,2	2,45	2,26	2,78	18,5	0,228	1,00	38,4	21,6	16,8	-0,80	2,9	
набухание, затем сжатие	26,1	2,03	1,61	2,78	42,1	0,727	1,00	38,4	21,6	16,8	0,27	44,8	4,8
набухание после сжатия, затем повторно сжатие	28,1	2,00	1,56	2,78	43,9	0,783	1,00	38,4	21,6	16,8	0,39	49,6	3,8
Образец №8													
при природной влажности	5,6	2,48	2,35	2,70	12,9	0,151	1,00	34,8	22,8	12,0	-1,43		62,1
после набухания	20,0	2,10	1,75	2,70	35,1	0,542	1,00	34,8	22,8	12,0	-0,24	34,3	
сжатие после набухания	19,3	2,11	1,77	2,70	34,4	0,525	0,99	34,8	22,8	12,0	-0,30		19,3
усадка после набухания	8,5	2,38	2,19	2,70	18,7	0,230	1,00	34,8	22,8	12,0	-1,19	7,2	
набухание, затем сжатие	27,2	1,98	1,56	2,70	42,3	0,732	1,00	34,8	22,8	12,0	0,37	50,9	5,2
набухание после сжатия, затем повторно сжатие	29,9	1,94	1,49	2,70	44,7	0,810	1,00	34,8	22,8	12,0	0,59	57,7	2,0

Во время набухания происходит перестройка микроструктуры глин под действием расклинивающего давления гидратных пленок. Ионно-электростатические связи разрываются, и глинистые частицы ориентируются под углом друг к другу. Формируются точечные, а затем и ближние коагуляционные контакты с развитым диффузным слоем воды вокруг частиц. С каждым циклом набухания и усадки возрастает дисперсность всей глинистой системы, глины способны впитывать больше воды, которая распределяется по поверхностям частиц, формируя вокруг них диффузный слой. С ростом толщины диффузного слоя вокруг глинистых частиц увеличивается сжимаемость глин и уменьшается модуль деформации (рис.29).

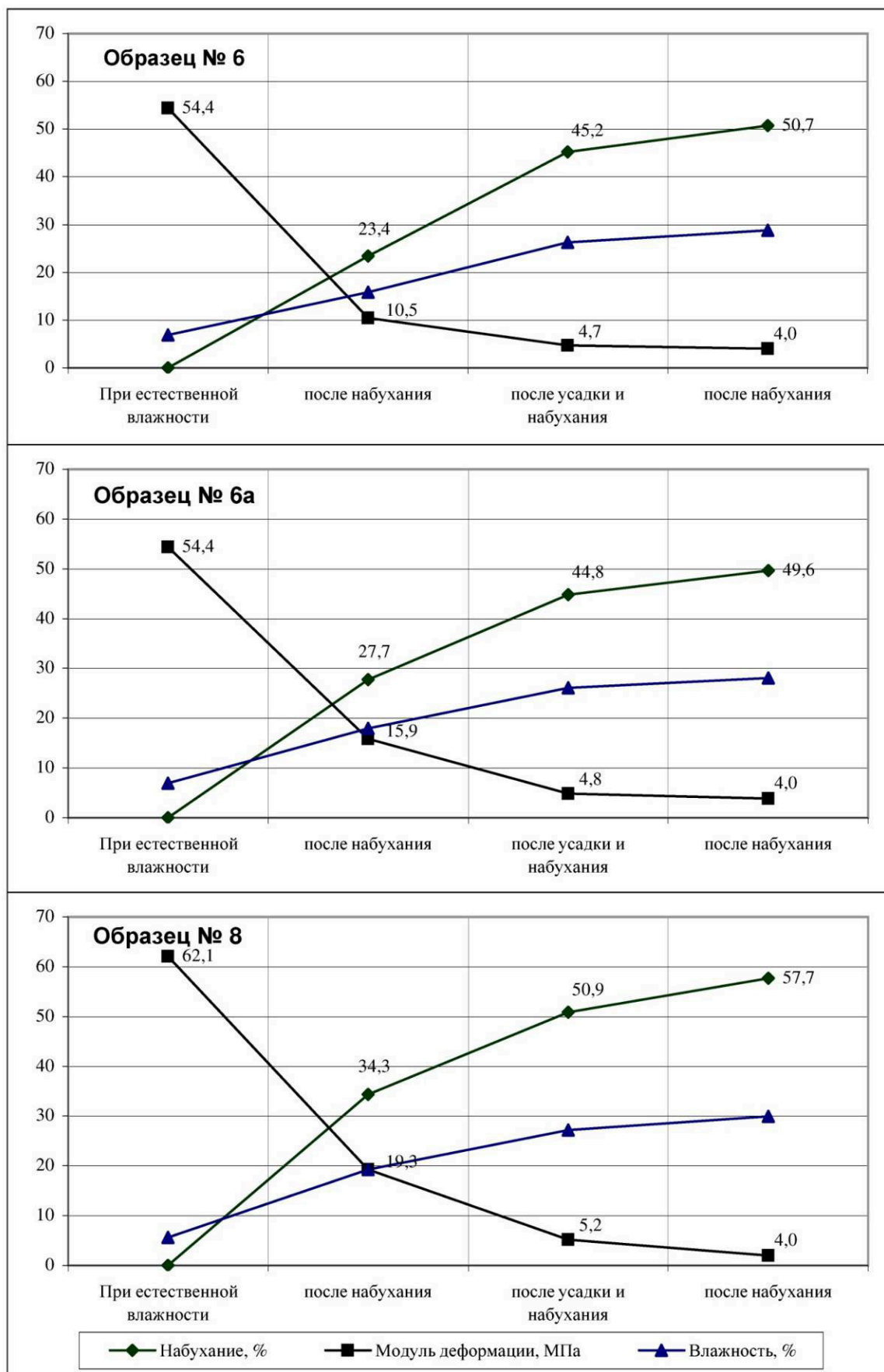


Рис. 29. Изменение модуля деформации, величины набухания и влажности аргиллитоподобных глин при циклическом набухании.

3.3.6. Сопротивление одноосному сжатию

Сопротивление одноосному сжатию R_c аргиллитоподобных глин в естественном состоянии изменяется в широких пределах от 0,8 до 12,0 МПа/см². Величина сопротивления одноосному сжатию во многом зависит от трещиноватости, плотности и влажности грунта. При значениях влажности до 5,0 - 8,0% сопротивление одноосному сжатию изменяется в пределах от 5 до 10 – 12 МПа, при значениях влажности более 10% сопротивление одноосному сжатию резко снижается. В замоченном состоянии проведение испытаний невозможно, так как глины набухают, распадаются на отдельные и размокают.

3.4. Микроструктурные и макроструктурные исследования аргиллитоподобных глин

С появлением растровой электронной микроскопии стали возможны детальные микроструктурные исследования глин, позволяющие получать снимки высокого качества и разрешения и проводить по ним высокоточный анализ их структуры. При описании глинистых грунтов, как и при описании любых геологических объектов, используется иерархический подход, подразумевающий описание структуры на макро- и микроуровне. Границей между макро- и микроуровнями принято считать разрешающую способность человеческого глаза, которая позволяет различать объекты размером не менее 0,1 мм [47].

Существует два типа выделения структуры глин - морфометрический и энергетический. Определение морфометрического типа структуры глин основывается на морфометрических особенностях структурных элементов и их соотношении. Энергетический подход основан на характере взаимодействия структурных элементов и энергии всей структуры в целом. Энергетический подход наиболее широко используется в физико-химической механике дисперсных систем - научном направлении, развитом П.А. Ребиндером [55], где понятие структуры основывается на характере

взаимодействия структурных элементов и энергии всей структуры в целом. Без изучения микроструктуры и характера связей между структурными элементами невозможно понять природу физико-химических свойств глин.

Важность характера структурных связей между глинистыми частицами отмечали в своих работах отечественные и зарубежные ученые, такие как М.М. Филатов, 1936 [72]; Е.М. Сергеев 1946, 1959 [58, 59]; В.А. Приклонский 1955 [52]; Kezdi A., 1974 [86]; Mitchell J.K., Soga K., 2005 [88]. Механизмы образования и особенности контактов и контактных взаимодействий подробно изучали В.И. Осипов, 1974, 1979, [43, 46]; В.Н. Соколов, 1974 [46], Е.Д. Шукин 1969, 1981 [79, 80] и др.. Результаты трудов данных ученых были использованы при написании этой главы.

3.4.1. Изучение строения с помощью рентгеновского компьютерного микротомографа

Рентгеновская компьютерная микротомография (μ КТ) выполнена на 4-х образцах аргиллитоподобной глины в естественном состоянии и после 1-го, 3-х и 5-ти циклов набухания. Исследования проводились в лаборатории грунтоведения и технической мелиорации грунтов кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. Ломоносова под руководством заведующего лабораторией д.г.-м.н., профессора В.Н.Соколова с помощью рентгеновского компьютерного микротомографа TDM 1000H-II, полученного в рамках программы развития МГУ имени М.В.Ломоносова. Прибор позволяет визуализировать внутреннюю структуру образца, не нарушая его целостности. Принцип работы компьютерного томографа основывается на просвечивании исследуемого объекта тонкофокусным пучком рентгеновских лучей (рис. 30). Проходя через объект, рентгеновские лучи поглощаются различными структурными элементами в разной степени. Затем рентгеновские лучи регистрируются системой детекторов, в результате чего получается теневая проекция. Путем вращения образца вокруг оси набирается серия теневых проекций, по

совокупности которых проводится реконструкция внутреннего строения объекта. В результате получают ортогональные полутонные сечения (μ КТ-изображения) образца глины.

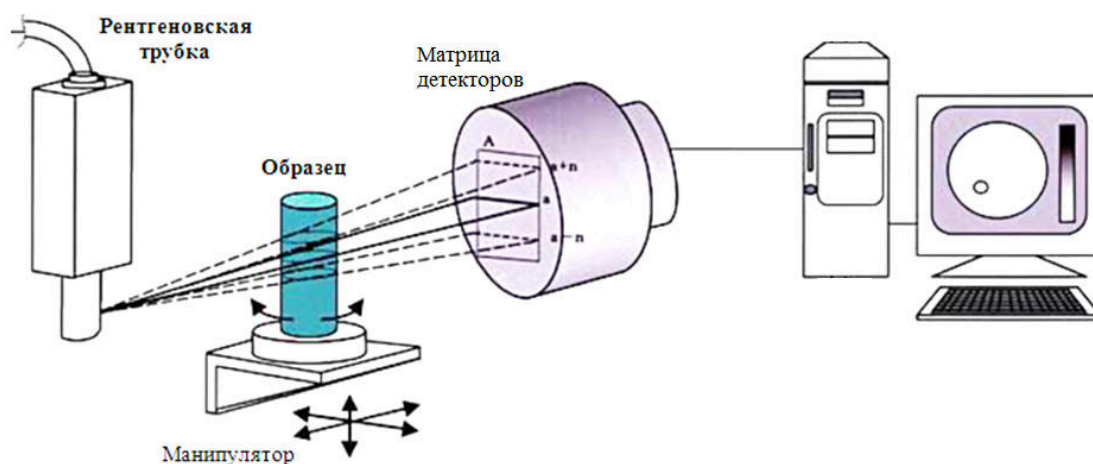


Рис. 30. Принцип работы и основные узлы компьютерного рентгеновского томографа TDM 1000H-II

Разрешение μ КТ-изображений или размер пикселя (вокселя) определяется диаметром образца, приведенным на количество пикселей (вокселей) изображения (как правило, 512x512).

Результаты сканирования образцов аргиллитоподобной глины получены в виде отдельных разномасштабных μ КТ-изображений. Масштаб изображений для каждого из образцов изменялся в геометрической прогрессии от 4 до 64, в отдельных случаях до 100 крат. При каждой съемке получалось около 50 случайных срезов.

На снимках образца аргиллитоподобной глины в естественном состоянии при 4-х кратном увеличении видна весьма однородная плотная структура с отдельными областями более низкой плотности (темные участки), рассеянная системой тонких трещин (темные линии) (рис. 31).

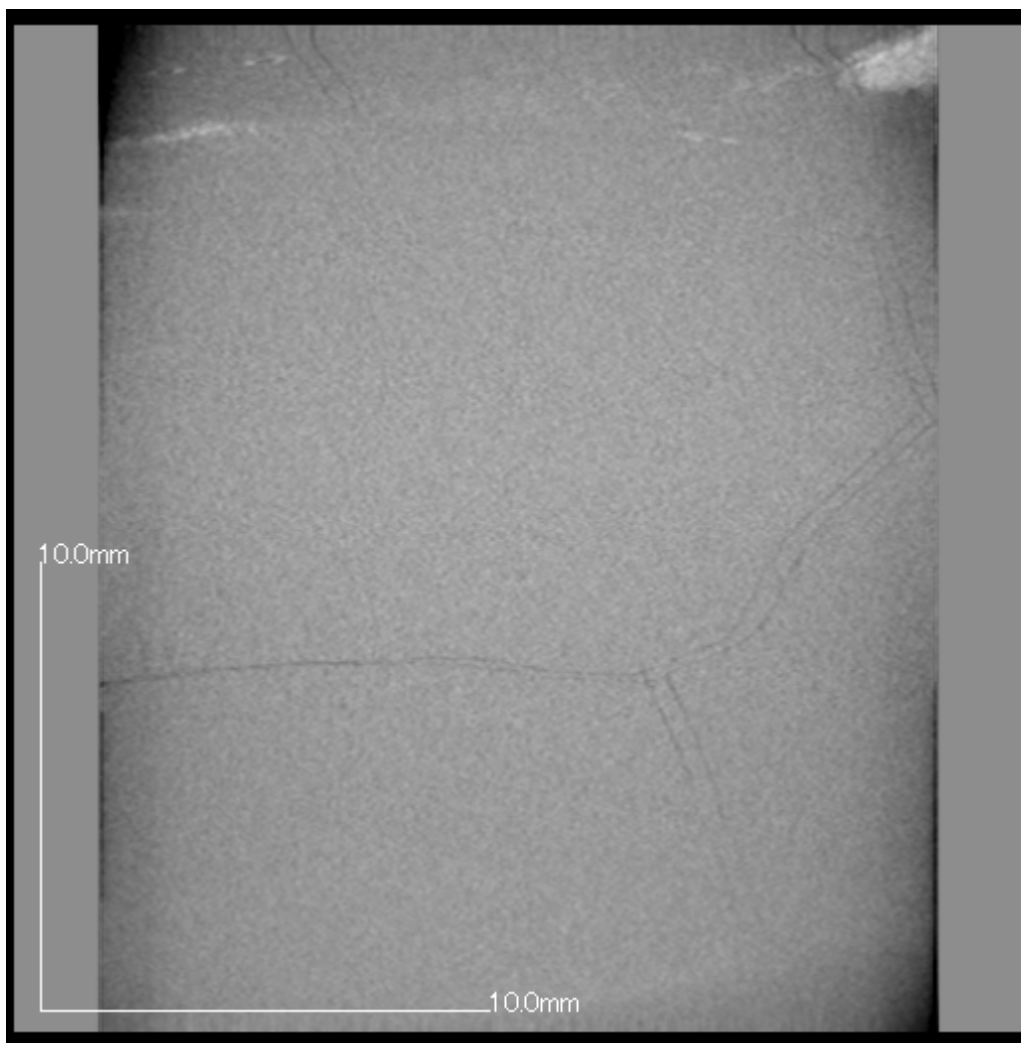


Рис. 31. μ КТ-изображение образца естественного сложения при 4-х кратном увеличении.

При стократном увеличении (рис. 32) в общей глинистой массе становятся различимы отдельные макропоры и пустоты (темные участки), вкрапления пирита в виде белых точек на снимке. Более светлые участки на снимке соответствуют более плотным областям относительно всего глинистого фронта. Закономерности в распределении более плотных и менее плотных участков в глинистой массе аргиллитоподобных глин, а также видимых структурных особенностей при серии увеличений от 4-х до 100 крат выявить не удалось.

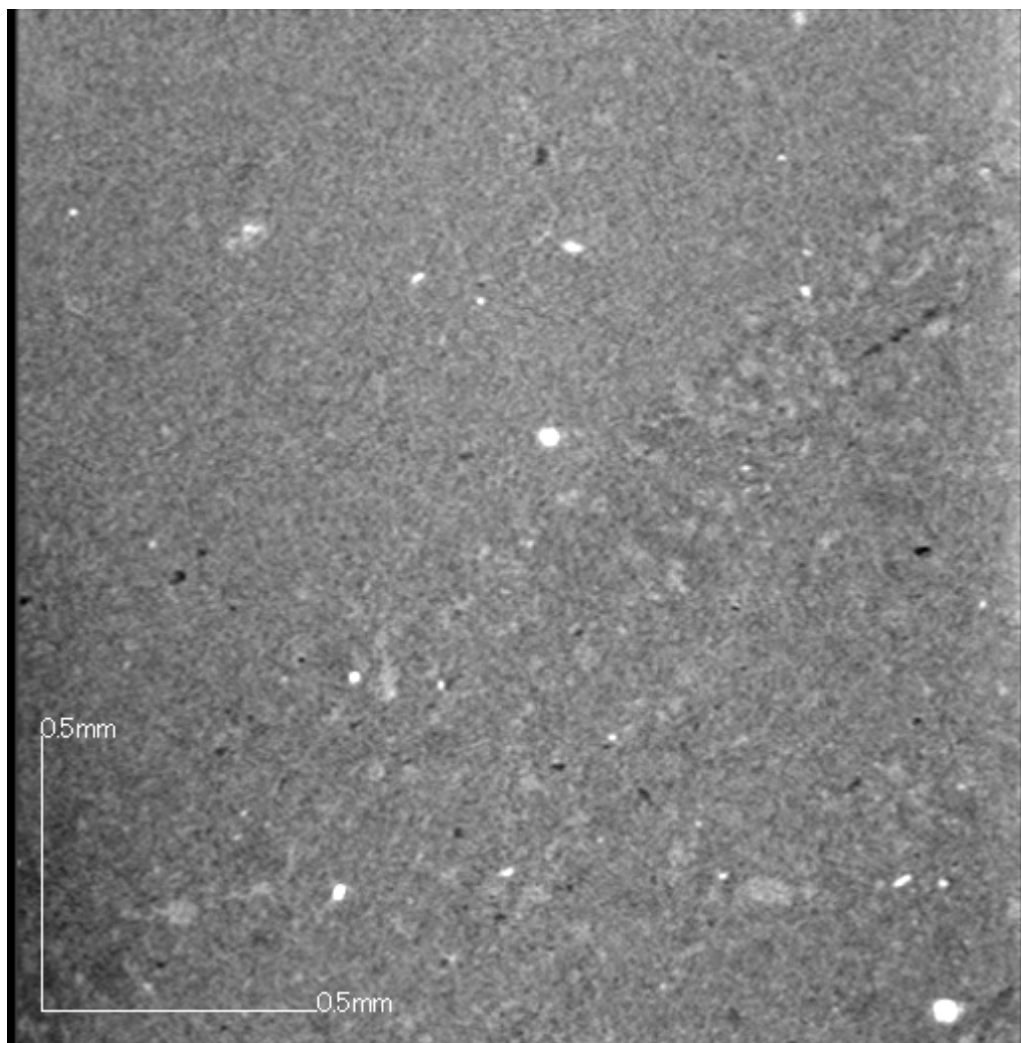


Рис. 32. μ КТ-изображение образца естественного сложения при увеличении 100 крат.

После набухания и с повторением циклов набухания и усадки по μ КТ-изображениям наблюдается повышение однородности структуры и к 5-му циклу набухания структура становится практически однородной. На снимках при 64-х кратном увеличении это выражается в виде равномерной серой массы с редкими небольшого размера светлыми точками, соответствующими вкраплениям пирита и ожелезненным областям (рис. 33).

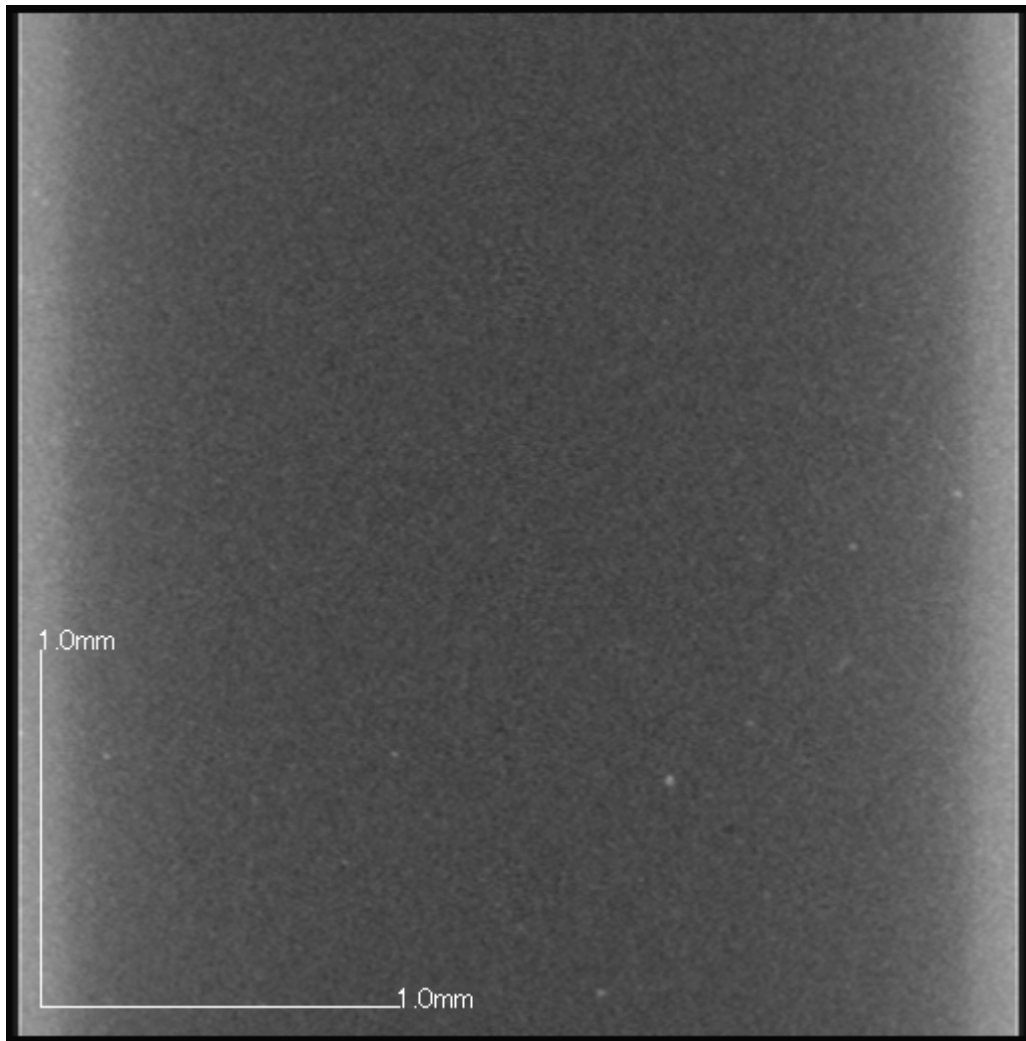


Рис. 33. μ КТ-изображение образца после 5-ти циклов набухания при 64-х кратном увеличении.

При 4-х кратном увеличении видны размытые очертания трещин в однородной глинистой массе (рис. 34).

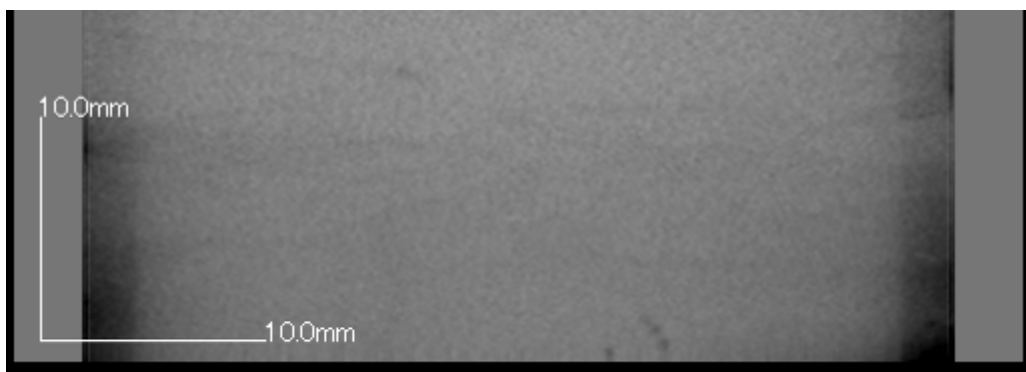


Рис. 34. μ КТ-изображение образца после 5-ти циклов набухания при 4-х кратном увеличении.

3.4.2. Результаты микроструктурных исследований с помощью растрового электронного микроскопа

Исследования микроструктуры аргиллитоподобных глин проводились в лаборатории грунтоведения и технической мелиорации грунтов кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. Ломоносова под руководством заведующего лабораторией д.г.-м.н., профессора В.Н.Соколова. В качестве аппаратной базы использовался растровый электронный микроскоп LEO 1450VP (Германия) полученный в рамках реализации Программы развития МГУ имени М.В.Ломоносова.

Образцы аргиллитоподобных глин для исследований в растровом электронном микроскопе вырезались из проб в направлении, перпендикулярном слоистости. Подготовка образцов к исследованию производилась с помощью метода вакуумной морозной сушки, который позволяет максимально сохранять естественную микроструктуру глин после их обезвоживания. Суть метода заключается в «мгновенном» замораживании естественно влажных образцов при температуре жидкого азота, равной (-)196°С, в результате чего вся поровая влага переходит в твердое псевдоаморфное состояние, не успев при этом раскристаллизоваться. Такой способ замораживания не сопровождается объемным расширением образующейся фазы воды и не вызывает каких-либо разрушений микростроения образца. После замораживания образцы помещают в вакуумную камеру сублимационной установки, где они высушиваются при низких отрицательных температурах за счет сублимации замерзшей влаги в вакууме [47]. Подготовка исследуемой поверхности проводилась путем раскалывания образцов, после чего полученная поверхность обдувалась сжатым воздухом и образцы по одному приклеивались на смотровой столик электропроводным клеем. Для предотвращения эффекта зарядки на поверхность исследуемых образцов в вакууме наносилась тонкая пленка золота толщиной 10–20 нм.

Основной целью микроструктурных исследований явилось определение типов структурных связей между глинистыми частицами, выявление морфологических особенностей твердых структурных элементов, качественный и количественный анализ всех имеющихся категорий пор с последующим анализом и статистической обработкой полученных параметров после повторения циклов набухания и усадки аргиллитоподобных глин.

Микроструктурные исследования глин проводились по серии РЭМ-изображений в диапазоне увеличений от 125 до 32000 крат. Наиболее мелкомасштабные увеличения необходимы для получения обзорных изображений, наиболее крупные выявляют тонкие детали микростроения, такие как размер и форма структурных элементов, характер их поверхности, тип контактов между глинистыми частицами и их микроагрегатами.

Всего с помощью растрового электронного микроскопа было изучено 4 образца - в естественном сложении, после одного, трех и пяти циклов набухания и усадки. По каждому из образцов получено не менее 8 снимков под разным увеличением.

В нижней части каждого снимка имеется масштабная линейка, отражена информация о номере испытуемого образца, дате и времени испытаний, кратности увеличения, рабочем расстоянии до объективной единицы, режиме количественного анализа (рис. 35-40). В процессе исследований использовался режим отраженных электронов, при котором изображение получается наиболее четким и лучше отрисовываются границы между частицами и порами.

На РЭМ снимках, снятых с поверхности образца естественного сложения, видна достаточно плотная структура с глинистыми частицами листообразной анизометричной формы, плотно поджатыми и расположенными параллельно или под небольшим углом друг к другу, взаимодействующими по типу базис-базис (рис. 35).

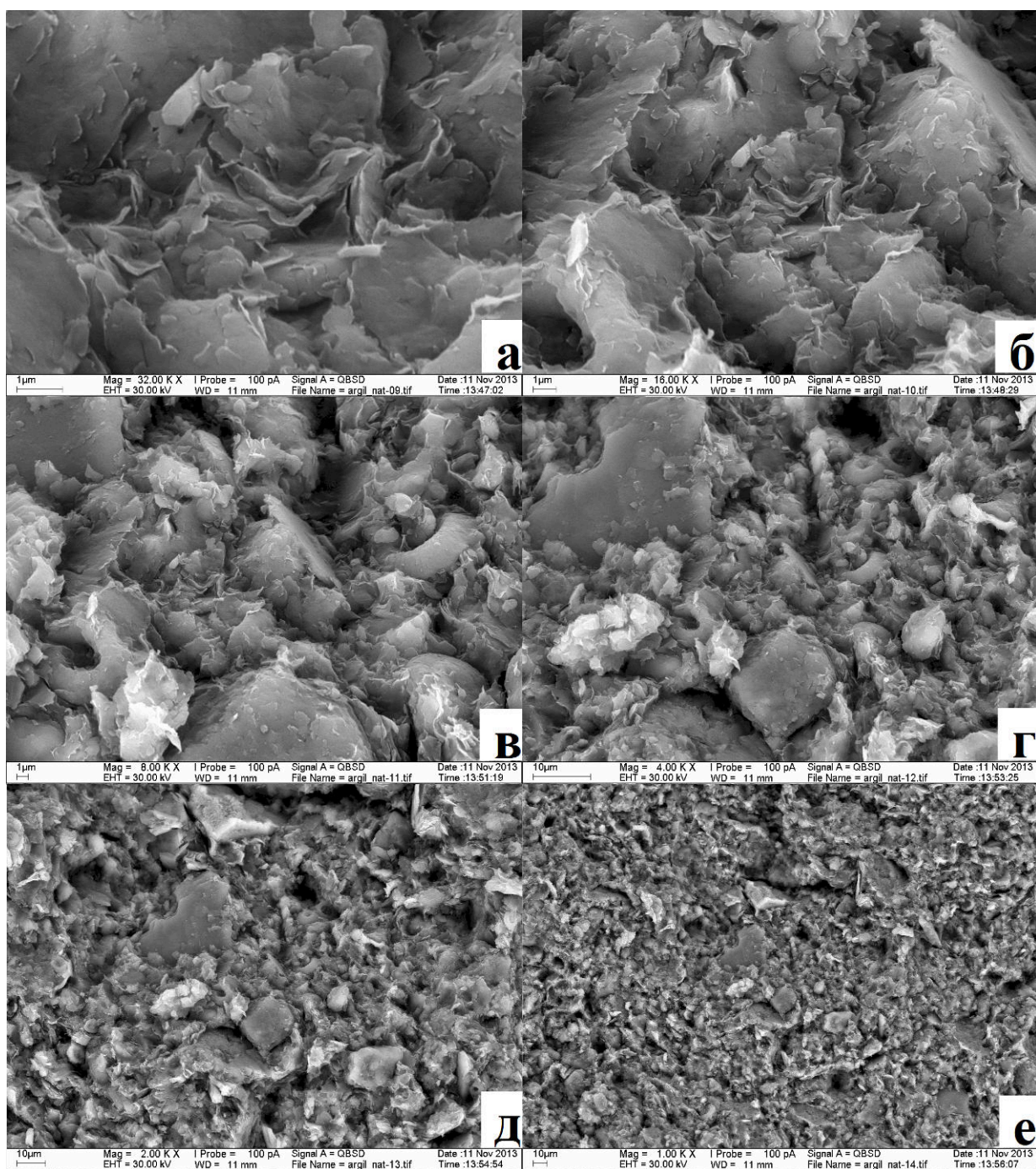


Рис. 35. РЭМ снимки микроструктуры аргиллитоподобной глины в естественном сложении при увеличениях 32 К X (а), 16 К X (б), 8 КX (в), 4 К X (г), 2 К X (д), 250 X (е).

Глинистые частицы в основном представлены смешанослойными и гидрослюдистыми минералами, собранными в ультрамикроагрегаты размером от долей до нескольких мкм и в микроагрегаты, размером до 30-50 мкм. По краям частиц видна небольшая "бахрома", образовавшаяся вследствие их частичного разрушения. Встречаются отдельные первичные

минеральные зерна, представленные частицами кварца и полевого шпата размером до 15-20 мкм, "одетые" в плотную рубашку из глинистых частиц. При увеличении 1000 крат видна микрофауна размером до 150 мкм - остатки раковин фораминифера (рис. 36).

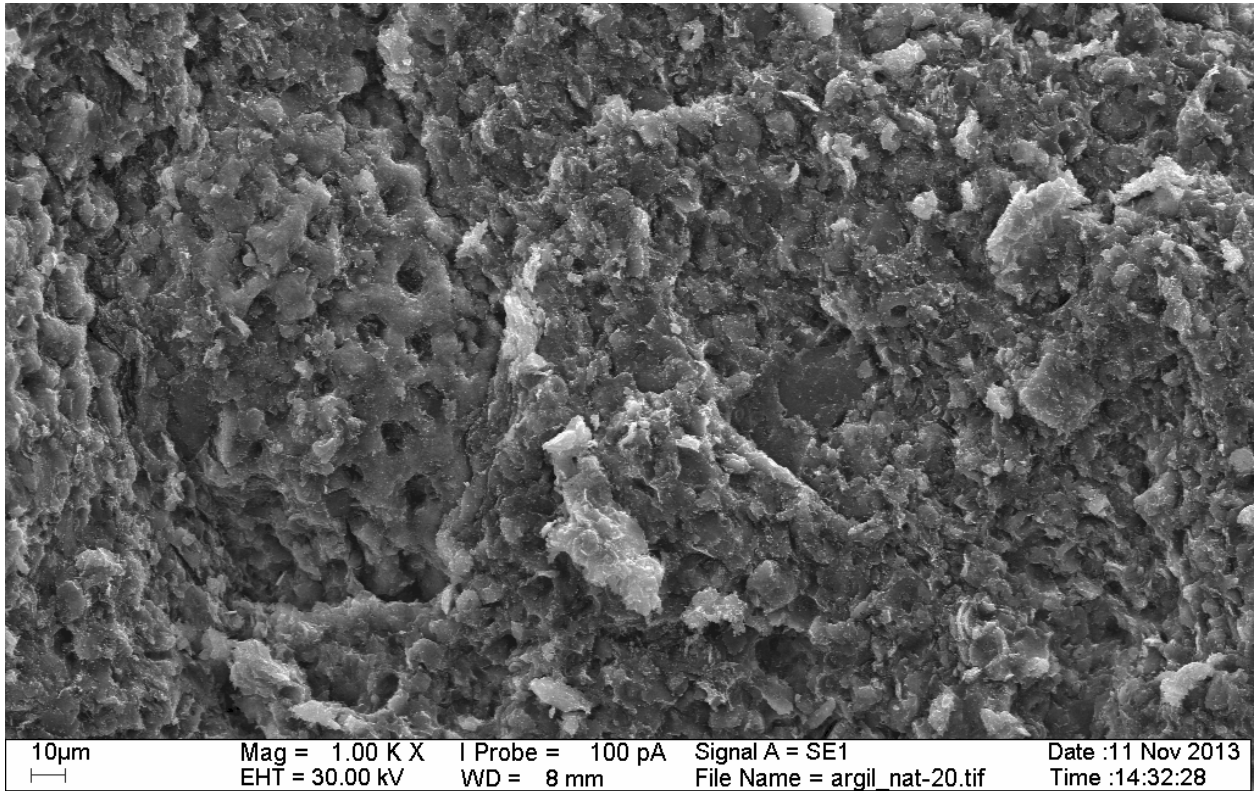


Рис 36. Микрофауна в аргиллитоподобной глине. Остатки раковины фораминифера.

После набухания на снимках с разным увеличением наблюдается изменение микроструктуры аргиллитоподобных глин (рис. 37-40). Наиболее наглядно изменение микроструктуры можно проследить на снимках при увеличении 8000 крат, где хорошо видны отдельные глинистые частицы и микроагрегаты. С каждым циклом набухания и усадки глин происходит разрушение переходных контактов ионно-электростатической природы, распад агрегатов, микроагрегатов и ультрамикроагрегатов, вследствие чего возрастает объём и удельная поверхность всей глинистой системы. С ростом гидратных пленок вокруг глинистых частиц происходит их разворот и переориентация друг относительно друга.

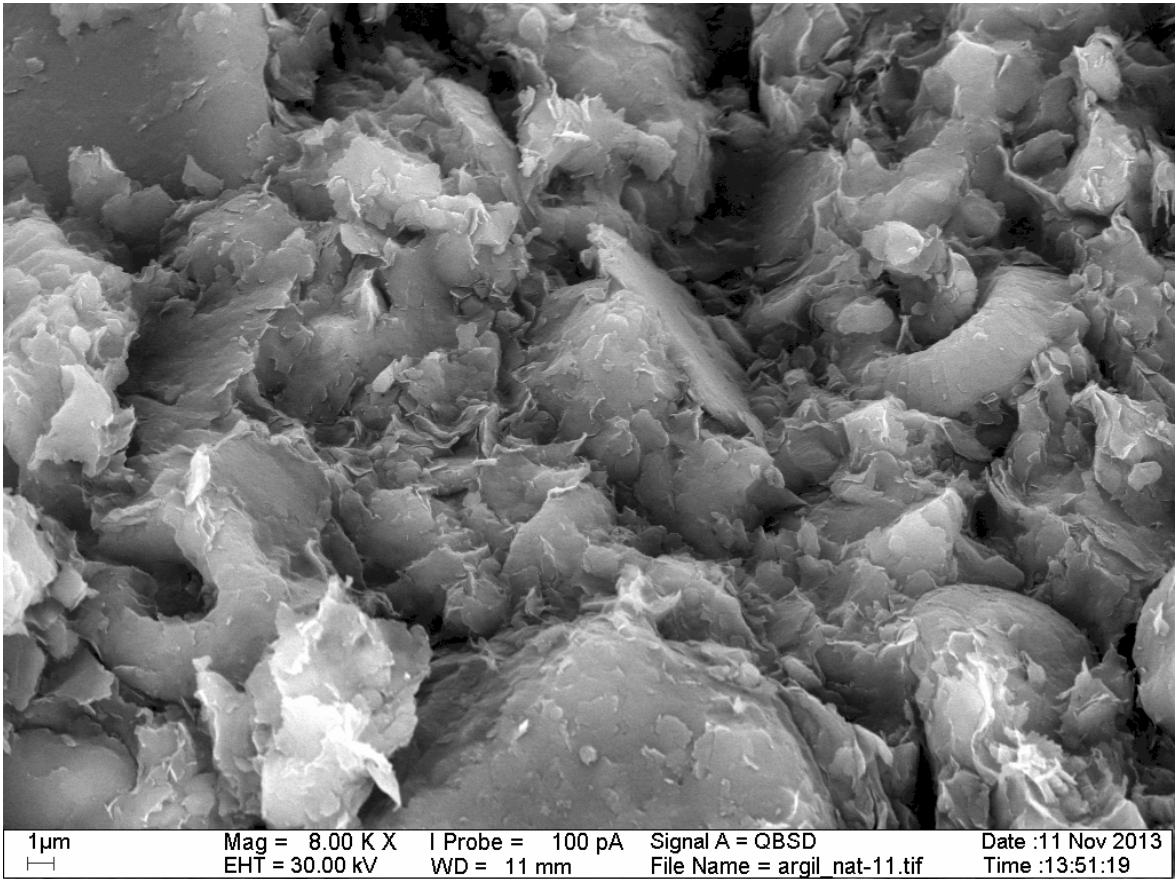


Рис. 37. Аргиллитоподобная глина в естественном сложении.

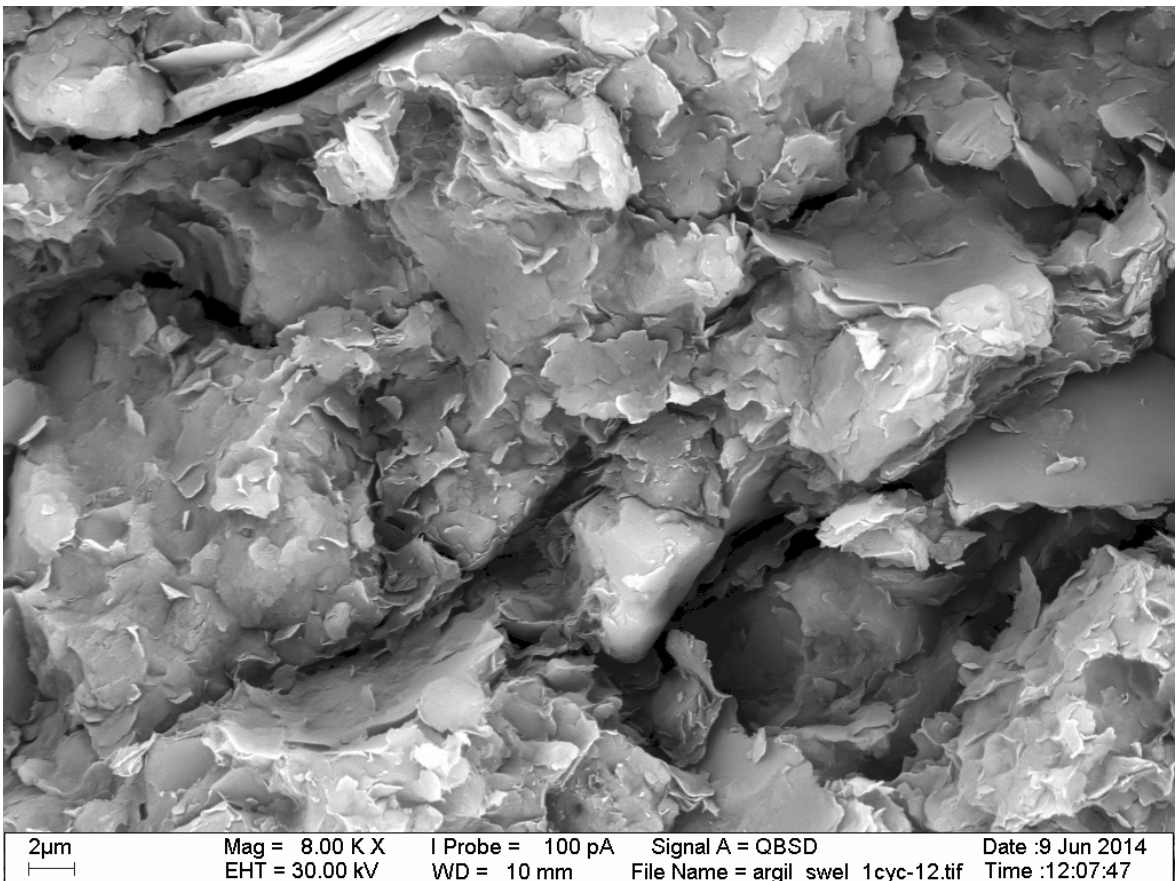


Рис. 38. Аргиллитоподобная глина после 1-го цикла набухания.

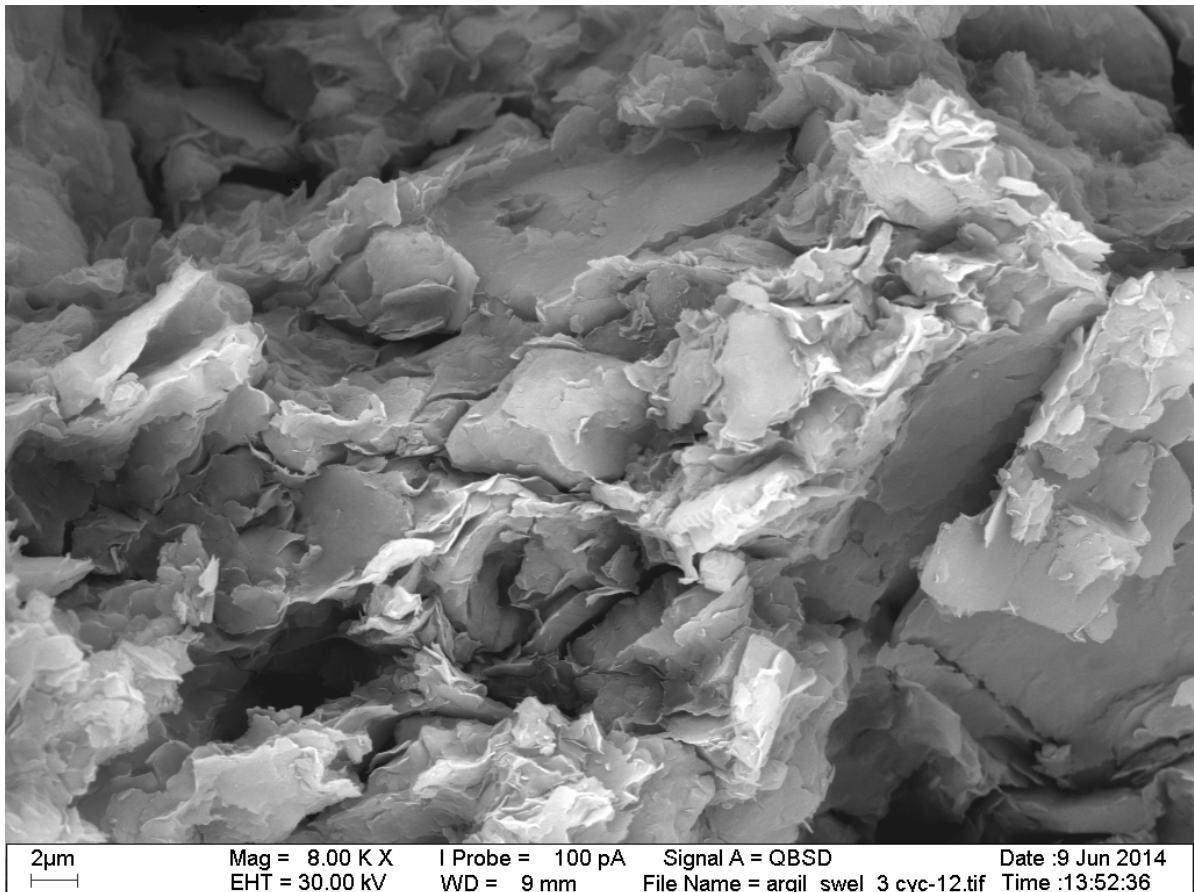


Рис. 39. Аргиллитоподобная глина после 3-х циклов набухания и усадки.

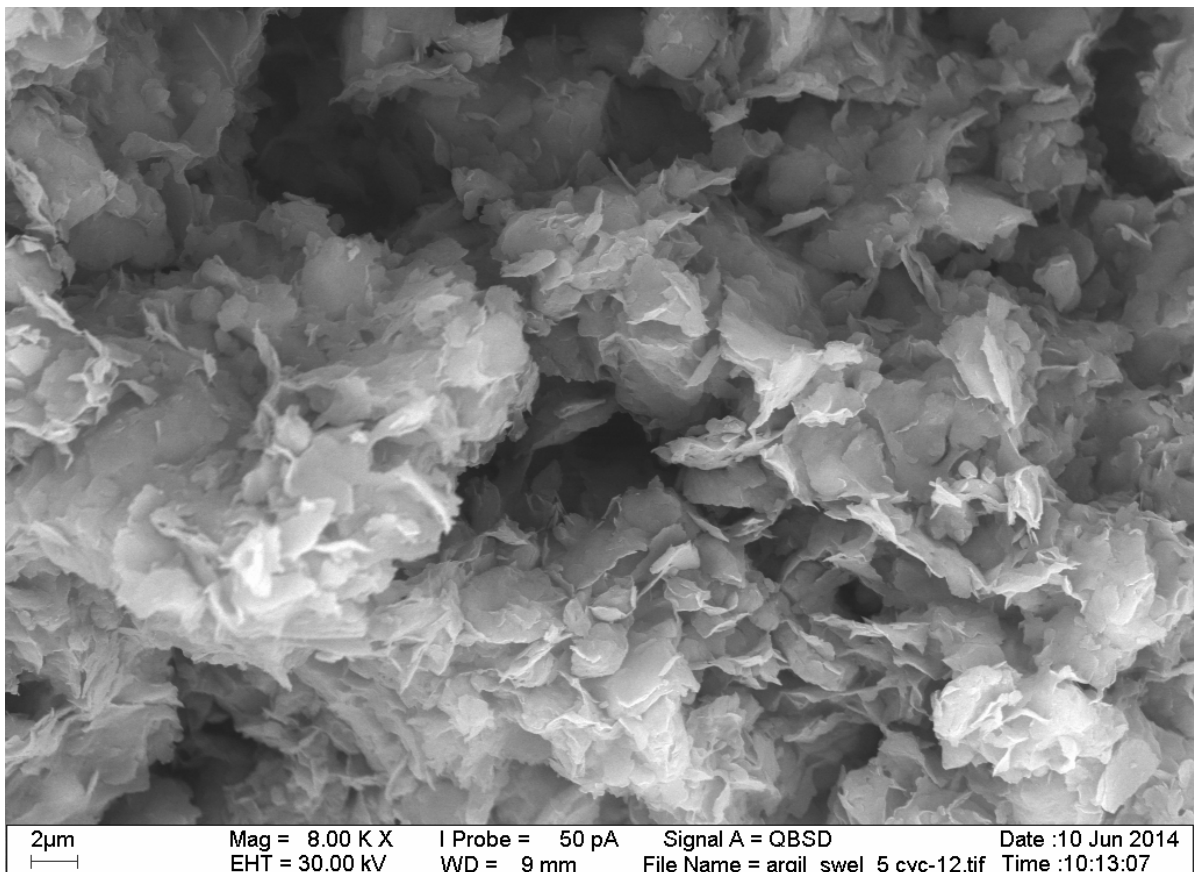


Рис. 40. Аргиллитоподобная глина после 5-ти циклов набухания и усадки.

После первого цикла набухания молекулы воды проникли в межагрегатное и межчастичное пространство глинистых минералов. Ионно-электростатические связи между ними начали разрушаться. Произошло частичное разрушение и раздвижение агрегатов и микроагрегатов. Глинистые частицы на поверхности агрегатов и микроагрегатов под действием сил ионно-электростатического отталкивания гидратных пленок отталкиваются друг от друга и переориентируются под разными углами друг к другу (рис.38).

С каждым последующим циклом набухания глинистые частицы всё больше переориентируются и отдаляются друг от друга. Молекулы воды, проникшие в межслоевое пространство минералов с разбухающей кристаллической решеткой, полностью не удаляются после усадки при комнатной температуре. Переходные контакты ионно-электростатической природы, преобладающие в естественном сложении, преобразуются в точечные. К 5-му циклу набухания частицы контактируют друг с другом преимущественно по типу базис-скол.

По серии снимков видно, что после усадки первичная структура с прочными переходными контактами ионно-электростатической природы не восстанавливается, а при последующем набухании происходит дальнейшее разрушение агрегатов, раздвижение и переориентация глинистых частиц и изменение структуры.

Классификационные морфологические параметры структуры аргиллитоподобных глин были получены путем анализа РЭМ-снимков. Обработка изображений проводилась с помощью программного обеспечения "STIMAN-3D", разработанного В.Н.Соколовым, Д.И.Юркцовым и О.В. Разгулиной в 2008 г. [67, 68, 69]. Принцип работы данного программного продукта основан на анализе серии разномасштабных изображений, что позволяет получать интегральную характеристику микроструктуры образца. Основное отличие этого программного продукта от остальных в том, что анализ производится не по одному снимку с определенным увеличением, а

по серии разномасштабных снимков с изменяющимся в геометрической прогрессии увеличением от 32 000 крат до 250 крат. Этот метод позволяет зафиксировать как мелкие, так и крупные структурные элементы и в последствии интегрировать и анализировать полученную информацию.

В таблице 8 приведены морфологические параметры аргиллитоподобных глин для каждой серии образцов в естественном состоянии и после циклов набухания и усадки. По данным, приведенным в таблице, можно проследить изменение таких параметров как: общая пористость, размер пор по категориям, максимальный диаметр пор, преобладающий коэффициент формы пор, коэффициент ориентации, коэффициент анизотропии, параметр дисперсности.

Таблица 8

Таблица морфологических параметров аргиллитоподобных глин

Образец аргиллитоподобной глины	Микро-морфологические параметры	Категории пор					Пористость, $\rho_{из}$, %	Коэф. анизотропии, K_a , %; Параметр анизотропии, A , д.ед.; Параметр дисперсности, D , д.ед.
		D_1 <0.1 мкм	D_2 0.1-1.0 мкм	D_3 1.0-10 мкм	D_4 10-100 мкм	D_{max} мкм		
естественного сложения. Argil_nat	Количество пор, N , %	1.0	5.9	68.5	24.6	24.98	23.74	$K_a=21.05$ $A=1.02$ $D=1.02$
	Коэф. формы, K_f	0.16-0.25; 0.50-0.58						
после 1 цикла набухания Argillite_Sw_1cycle	Количество пор, N , %	0.3	4.6	36.6	58.5	40.51	27.53	$K_a=36.91$ $A=1.39$ $D=1.12$
	Коэф. формы, K_f	0.41-0.50; 0.16-0.25; 0.75-0.83						
после 3-х циклов набухания Argillite_Sw_3cycle	Количество пор, N , %	0.2	3.0	23.8	73.0	53.83	33.64	$K_a=46.85$ $A=1.50$ $D=1.26$
	Коэф. формы, K_f	0.33-0.41; 0.50-0.58; 0.66-0.75						
после 5 циклов набухания Argillite_Sw_5cycle	Количество пор, N , %	0.1	2.5	36.6	60.8	48.65	41.49	$K_a=26.90$ $A=1.26$ $D=0.96$
	Коэф. формы, K_f	0.41-0.50; 0.66-0.75						

Общая пористость характеризует суммарное количество всех имеющихся пор в образце и закономерно увеличивается с каждым последующим циклом набухания с 24% почти до 42%. Помимо общей пористости выделяются 5 основных категорий пор: 1) межчастичные поры размером до 0.1 мкм; 2) межультрамикрoагрегатные - от 0.1 до 1.0 мкм; 3) межмикрoагрегатные - от 1.0 до 10 мкм; 4) межагрегатные - от 10 до 100 мкм; 5) межзернистые - более 100 мкм [11]. В аргиллитоподобных глинах в естественном состоянии присутствуют первые 4 категории пор и преобладают поры 3-й категории - межмикрoагрегатные в количестве 68,5% от общей пористости, количество межагрегатных пор 4-й категории составляет 24,6%. Максимальный размер пор при этом не превышает 25 мкм.

После первого и третьего циклов набухания на фоне уменьшения количества пор 3-й категории (межультрамикрoагрегатных) начинают преобладать поры 4-й категории (межагрегатные) в количестве 58% и 73% соответственно (табл. 8). Максимальный размер пор после 3-х циклов набухания закономерно увеличивается и достигает 54 мкм, общая пористость возрастает до 33,6%. После 3-х циклов произошло частичное разрушение агрегатов и общая пористость глин увеличивается преимущественно за счет укрупнения межагрегатных пор 4-й категории, что визуальнo можно проследить на РЭМ-снимках (рис. 39).

После 5-ти циклов набухания и усадки, по сравнению с глиной после 3-х циклов, на фоне увеличения общей пористости наблюдается небольшое снижение количества пор 4-й категории с 73% до 60,8% и увеличение количества пор 3-й категории с 23,8% до 36,6%. Максимальный диаметр пор тоже снизился с 58,8 до 48,6 мкм. Это объясняется началом разрушения агрегатов, в результате чего начинают преобладать микрoагрегаты и межмикрoагрегатные поры.

Важным морфологическим параметром пор является коэффициент формы K_f , который отражает линейное отношение двух наиболее отличающихся сечений поры. При коэффициенте формы $K_f < 0.1$ поры

щелевидные, при $0.1 < K_f < 0.66$ - анизометричные, при $K_f > 0.66$ - изометричные [11]. В естественном сложении в аргиллитоподобных глинах преобладают анизометричные и близкие к щелевидным поры. После первого и третьего циклов набухания наряду с анизометричными появляются и изометричные поры, а к 5-му циклу начинают преобладать изометричные и близкие по значениям к изометричным - анизометричным поры. С каждым циклом набухания форма пор приобретает более округлые очертания.

На рисунке 41 показаны розы ориентации структурных элементов, построенные при 1000х увеличении РЭМ-изображений, снятых с образцов естественного сложения (а), после 1-го (б), 3-х (в) и 5-ти (г) циклов набухания.

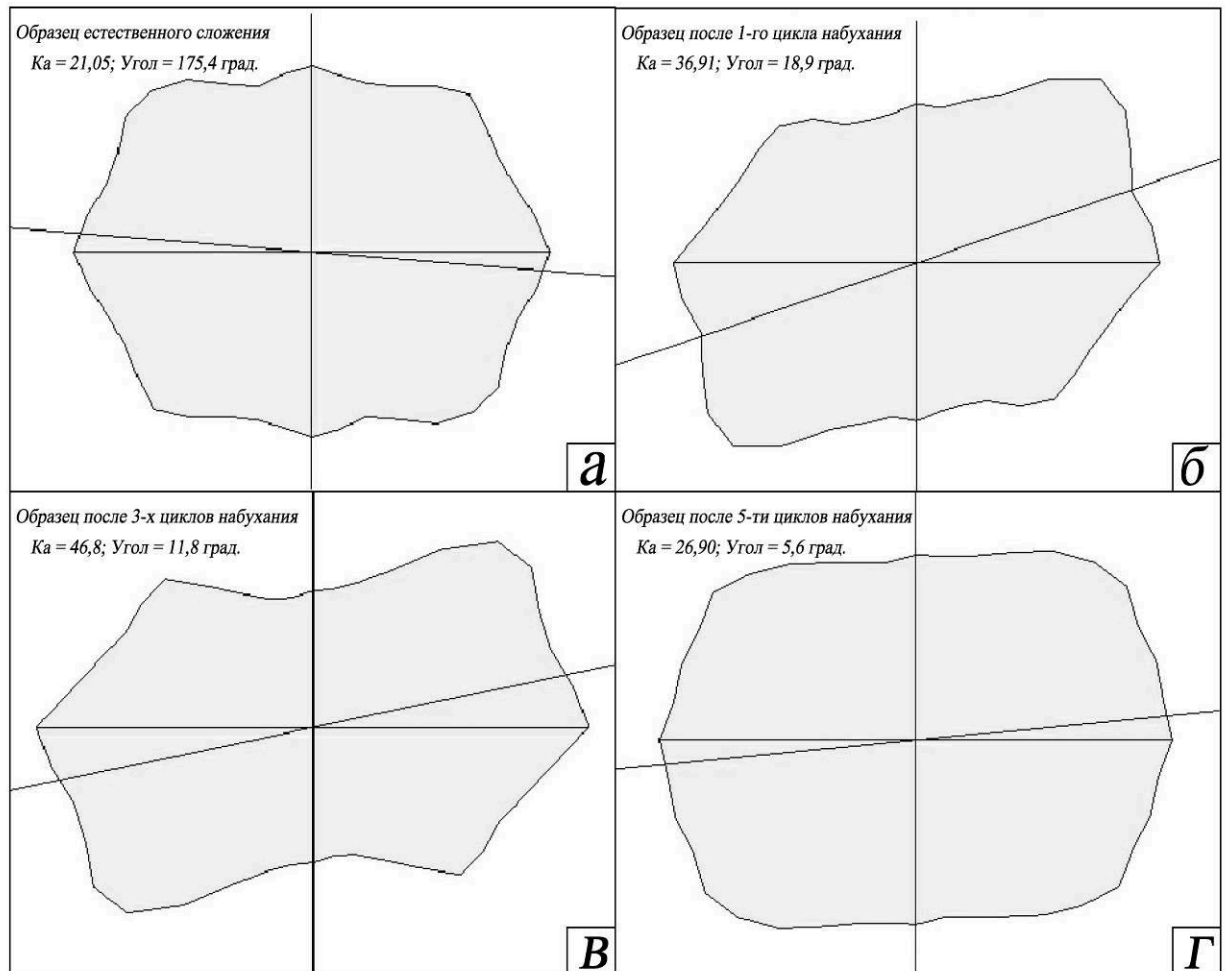


Рис. 41. Розы ориентации структурных элементов аргиллитоподобных глин, построенные при 1000X увеличении в естественном состоянии (а), после 1-го (б), 3-х (в) и 5-ти (г) циклов набухания.

На протяжении первых 3-х циклов набухания и усадки наблюдается увеличение упорядоченности структуры, о чем говорит возрастание коэффициента анизотропии K_a более чем в два раза относительно природного ($K_a = 46,9$). На розах ориентации структурных элементов (рис. 41 б,в) видно как возрастает к 3-му циклу степень ориентации структуры глин. Это происходит за счет того, что глинистые частицы, собранные в агрегаты и микроагрегаты, начинают расходиться и переориентироваться, но существенного разрушения агрегатов пока не происходит. В результате структура подчеркивается и становится более высокоориентированной. После 5-ти циклов набухания коэффициент анизотропии снижается до $K_a=26,9$ (рис. 41, г). На снимках видно, что агрегаты начинают разрушаться, структура становится более тонкодисперсной и частично начинает проявляться ячеистая структура. Это и является причиной уменьшения упорядоченности структуры к 5-му циклу. Вместе с коэффициентом анизотропии по тем же причинам увеличиваются к 3-му и снижаются к 5-му циклу набухания параметр дисперсности D и параметр анизотропии A . Параметр дисперсности D , вычисляемый как соотношение интегралов энергетического спектра Фурье по кольцевым сегментам, отражает интегральную степень крупности частиц и уменьшается с увеличением дисперсности глинистой системы. Параметр анизотропии A вычисляется тем же способом с помощью Фурье-анализа, только не по кольцевым, а по угловым сегментам [66].

По морфологическим параметрам, согласно классификации микроструктур глинистых пород В.Н. Соколова [64], аргиллитоподобные глины в естественном состоянии относятся к классу Б - среднедисперсные, подклассу II - среднеориентированные, группе с. - смешанная (со смешанными структурными связями). После одного и трех циклов набухания в структуре аргиллитоподобных глин увеличился параметр дисперсности D и стал соответствовать классу В - крупнодисперсной, остальные морфологические параметры остались в пределах того же подкласса II -

среднеориентированной и группы с. - смешанной. После пятого цикла набухания параметр дисперсности уменьшился и вновь стал соответствовать классу Б - среднedisперсной, подклассу II - среднеориентированной и группе с. - смешанной.

Как показали микроструктурные исследования аргиллитоподобных глин, глинистые частицы в естественном состоянии плотно поджаты друг к другу и собраны в агрегаты и микроагрегаты, которые начинают разрушаться при гидратации после 5-ти циклов набухания и усадки. С каждым циклом набухания возрастает общая пористость; молекулы воды проникают в пространство между агрегатами, микроагрегатами, ультрамикроагрегатами и глинистыми частицами; агрегаты разрушаются и увеличивается количество глинистых частиц, взаимодействующих друг с другом по типу базис-скол; возрастает площадь удельной поверхности глинистой системы; переходные контакты ионно-электростатической природы сменяются на точечные, а затем, при дальнейшей гидратации, на коагуляционные.

Результаты микроструктурных исследований подтверждают и хорошо коррелируются с данными, полученными при проведении серии лабораторных испытаний по определению физико-химических свойств аргиллитоподобных глин в естественном состоянии, при разной степени увлажнения и при повторении циклов набухания и усадки.

Снижение величины структурного сцепления после циклов набухания и усадки глин закономерно обусловлено постепенным разрушением переходных контактов ионно-электростатической природы, переориентацией глинистых частиц и отдалением их друг от друга, что наглядно наблюдается с каждым последующим циклом набухания по РЭМ-изображениям. Ослабление структурных связей на микроуровне сказывается и на деформационных свойствах глин - с каждым циклом набухания и усадки модуль деформации так же снижается.

Величина набухания и давление набухания с каждым циклом набухания и усадки возрастает по причине разрушения структурных связей,

распада агрегатов, роста гидратных пленок вокруг глинистых частиц и увеличения дисперсности системы, что подтверждается электронно-микроскопическими исследованиями.

3.4.3. Выявление макроструктурных особенностей с помощью размывания поверхности образца.

Макроструктурные особенности аргиллитоподобных глин можно увидеть после размывания поверхности пробы естественного сложения под напором воды. После 10 - 15 минут нахождения под проточной водой на поверхности глины достаточно четко начинает выделяться рельеф, отражающий элементы её внутреннего строения (рис.42). Это происходит за счет того, что глина неоднородна по строению и в ней имеются различающиеся по плотности и устойчивости к гидратации элементы (зоны). Более плотные и относительно устойчивые к гидратации элементы видны в виде вытянутых эллипсоидов анизометричной формы размером от 3 до 10мм (макроагрегатов) прижатых друг к другу. Пространство между ними заполнено глинистой массой, относительно менее плотной и менее устойчивой к гидратации, которая быстрее размокает и смывается под напором воды, обнажая поверхность более плотных элементов в глине.

Такое строение влияет на проникновение и распределение воды в глине и характер процесса набухания. Сначала вода просачивается по межмакроагрегатному пространству, заполненному относительно менее устойчивой к гидратации глиной, а затем и в относительно более устойчивые к гидратации макроагрегаты эллипсоидной формы. Из этого можно предположить, что процесс проникновения воды в аргиллитоподобную глину носит сложный, нелинейный характер.



Рис. 42. Образец аргиллитоподобной глины после отмывания его поверхности под проточной водой.

3.5. Рекомендации к проведению лабораторных исследований аргиллитоподобных глин.

Во время работы с материалом диссертации были выявлены некоторые особенности в процессе проведения лабораторных исследований аргиллитоподобных глин, позволяющие сформировать следующие рекомендации для дальнейших исследований.

Гранулометрический анализ аргиллитоподобных глин, с учетом их высокой степени агрегированности, необходимо проводить после тщательной диспергации с применением раствора аммиака и растиранием. Применение этих способов диспергации обеспечивает наиболее достоверные результаты.

Одной из основных особенностей аргиллитоподобных глин в процессе лабораторных исследований является длительность проведения испытаний. Условная стабилизация роста набухания при замачивании образцов может достигаться в течение длительного времени. В некоторых случаях глины под вертикальной нагрузкой продолжают набухать в течение нескольких недель. Причина такого поведения глин кроется в их микроструктуре и минеральном составе глинистой фракции. Глинистые частицы в глинах плотно поджаты друг к другу и собраны в макро- и микроагрегаты. В природном сложении в глинах преобладают прочные переходные контакты ионно-электростатической природы. Высокая агрегированность и прочные переходные ионно-электростатические контакты обуславливают относительную устойчивость глин к увлажнению. При длительном увлажнении происходит постепенное разрушение переходных ионно-электростатических контактов, распад микроагрегатов и переориентация глинистых частиц. Этот процесс занимает большее количество времени и энергии, чем в глинах с преобладанием точечных или коагуляционных контактов между глинистыми частицами.

Замачивание образцов перед проведением испытаний аргиллитоподобных глин в трехосном приборе следует проводить под давлением, соответствующим природному, создаваемому вышележащей толщей грунтов. После замачивания глин без приложения вертикальной нагрузки происходит их свободное набухание, вследствие чего сильно повышается сжимаемость. Модуль деформации при этом будет достигать минимальных значений, которые для глин в природном состоянии под давлением от вышележащей толщи грунтов не характерны.

Определение максимальной величины давления набухания необходимо проводить после нескольких циклов набухания и усадки. Как показывают опыты с циклическим набуханием после усадки глин, величина набухания возрастает с каждым циклом и достигает своего максимума к третьему и пятому циклам.

По причине наличия анизотропии, рекомендуется проводить испытания на образцах глин, вырезанных как вдоль, так и поперек слоистости, в зависимости от задач исследований.

Изготовление образцов необходимого диаметра для проведения испытаний рекомендуется проводить с помощью фрезы. Вырезать образец необходимо как можно скорее после вскрытия пробы, при этом во время вырезания образца исключить его замачивание. Охлаждение режущего инструмента рекомендуется с помощью воздуха, подаваемого под давлением изнутри инструмента. Допускается подливать воду с внешней стороны фрезы. Во время подачи воздуха изнутри трубы, вода не замачивает образец, находящийся внутри грунтоприемной трубы, охлаждая режущую коронку снаружи.

Исследование аргиллитоподобных глин с помощью рентгеновской компьютерной микротомографии (μ КТ) не позволяет выявить закономерного распределения более плотных и менее плотных участков в общей глинистой массе, а также видимых структурных особенностей при серии увеличений от 4-х до 100 крат. Ввиду этой особенности не представляется возможным построение трехмерной модели внутренней структуры образца. Данное исследование может применяться для определения наличия и распределения микротрещин в образце, а так же различного рода включений с отличной от вмещающей глинистой массы плотностью.

4. АРГИЛЛИТОПОДОБНЫЕ ГЛИНЫ В ПРИРОДНОМ МАССИВЕ И ПРИ НАРУШЕНИИ ИХ ЕСТЕСТВЕННОГО СЛОЖЕНИЯ. РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬНОМ ОСВОЕНИИ.

4.1. Аргиллитоподобные глины в природном массиве.

Исследованию массивов горных пород посвящено множество работ отечественных и зарубежных авторов [4, 5, 9, 17, 26, 36, 38, 50, 54, 60, 76]. Существенный вклад в разработку методов изучения массивов горных пород внесли такие ученые как Е.М.Сергеев, П.Н.Панюков, Н.А.Цитович, Г.С.Золотарев, Г.К.Бондарик, Г.А.Голодковская, Ч.Джегер, В.Д.Ломтадзе, Л.Д.Белый, М.В.Рац, и многие другие, материалы работ которых использованы при написании этой главы.

В инженерно-геологической литературе определение понятия "массив горных пород" разделяется на две группы. По мнению одних ученых (П.Н. Панюков, М.В. Рац), под массивом горных пород понимается участок земной коры, находящийся в сфере воздействия инженерно-геологического сооружения, исследуемый с целью определения условий производства инженерных работ и эксплуатации сооружений и обладающий определенной инженерно-геологической структурой. Другие ученые, такие как Л.Д. Белый, Г.А. Голодковская, Ч. Джегер и др. рассматривают горный массив как объективно существующее тело, независимо от того, находится оно во взаимодействии с инженерным сооружением или нет.

Поскольку разные ученые в один термин вкладывают различные понятия, Е.М. Сергеев предложил в первом случае применять название - область воздействия инженерного сооружения, а для второго - массив горных пород. Под массивом горных пород он понимает геологическое тело, образующее тектоническую структуру или её часть, сформировавшееся в определенной геолого-структурной и палеогеографической обстановке и характеризующееся определенными геологическими, гидрогеологическими и инженерно-геологическими закономерностями [60].

Важнейшими характеристиками массивов горных пород как инженерно-геологических объектов являются состав, структура и текстура горных пород, слагающих массив; структура всего массива, которая определяется слоистостью и характером залегания горных пород (трещиноватостью, дислоцированностью, разрывами и разломами); неоднородность и анизотропность.

Вследствие наличия трещиноватости и разломов массив разбивается на блоки, куски и другие более мелкие образования. Форма, размеры, взаимное расположение и типы контактов между отдельными блоками создают структуру массива. Слоистость, в свою очередь, выражается в чередовании параллельных слоёв различного состава и строения и образует слоистую текстуру массива, приводящую к анизотропии прочностных и деформационных свойств.

Массив аргиллитоподобных глин сочинской свиты, являющийся сегодня объектом активного строительного освоения, сформировался в результате совокупности всех процессов, происходящих на стадии формирования породы, начиная от стадии образования первичного осадка, заканчивая эпигенетическими преобразованиями. В результате в области взаимодействия инженерных сооружений находится массив аргиллитоподобных глин, представленный различной степени дислоцированности слоистой флишевой толщей, трещиноватой, рассеченной сетью разноориентированных тектонических нарушений разной амплитуды смещения (рис. 43).

Мощность слоёв, слагающих флишевую толщу аргиллитоподобных глин, по глубине в рамках исследуемой территории изменяется от первых миллиметров до метра. Чередование слоев неупорядоченное. Слои выдержаны по мощности и разделены между собой тонкими присыпками материала пылеватой или песчаной размерности. В толще встречаются редкие прослои песчаника трещиноватого крупнозернистого на карбонатном цементе мощностью от первых сантиметров до 0,5 - 1,0 м.

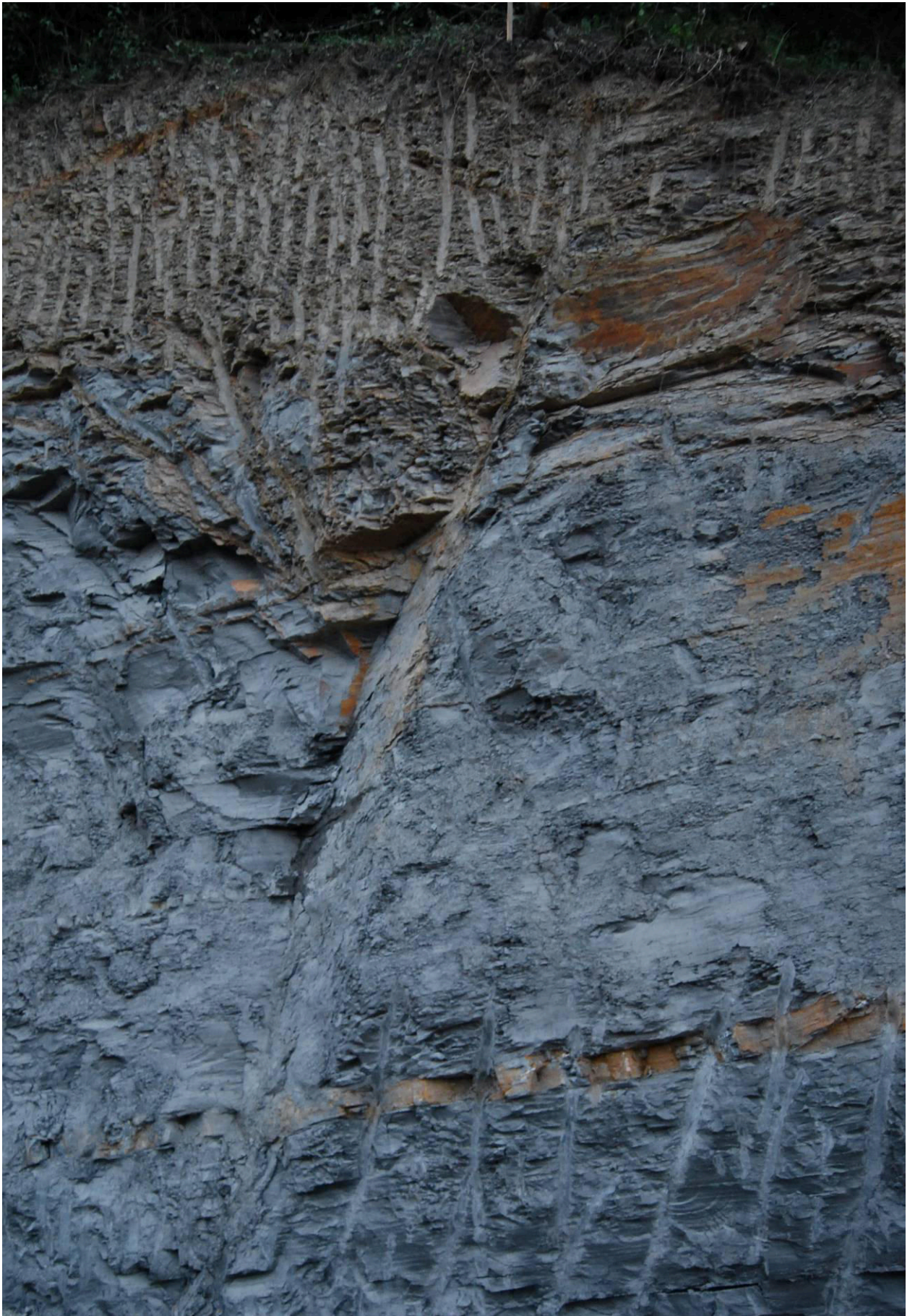


Рис. 43. Массив агрилитоподобных глин в обнажении в г. Сочи.

Преобладающее направление падения слоёв юго-восточное, угол падения изменяется от 10° до 35° , нередко встречается субгоризонтальное и субвертикальное залегание.

Важный фактор, который присутствует в слоистом массиве аргиллитоподобных глин, это анизотропия его свойств, под которой понимается среда, физические и физико-механические свойства которой зависят от направления. Анизотропия в массиве пород может быть первичной и вторичной [30]. Первичная анизотропия связана со слоистостью глин, вторичная - с трещиноватостью различного генезиса, напряженным состоянием массива и зонами разуплотнения и разгрузки на склонах. Важная особенность анизотропии состоит в том, что её величина зависит от масштаба исследований и проявляется неодинаково в образце и в массиве. В массиве аргиллитоподобных глин анизотропия связана со слоистостью и наличием густой сети трещин разного генезиса и направления, что значительно усложняет процесс исследования состояния и поведения массива.

В массиве встречаются как послойные, так и разноориентированные секущие слои трещины. По генезису, согласно Г.А.Голодковской, они относятся к трем типам: литологическим (I), тектоническим (II) и экзогенным (III). В зонах активного инженерного освоения (подрезки склонов, разработки строительных котлованов, проходки тоннелей и т.д.) помимо перечисленных типов трещин, формируются трещины IV типа - техногенные [9]. Все перечисленные типы трещин присутствуют в массиве аргиллитоподобных глин и образуют разноориентированную в пространстве сеть. Послойные трещины относятся к литологическому типу и имеют ширину раскрытия от первых мм до нескольких см, протяженностью от 1-2 м до десятков метров. В большинстве случаев они заполнены (залечены) кальцитом гидротермального происхождения (рис. 44).



Рис. 44. Послойная трещина в массиве аргиллитоподобных глин, заполненная гидротермальным кальцитом.

Часто встречаются закрытые и открытые тектонические трещины, относящиеся ко второму типу трещиноватости, ориентированные как параллельно слоистости, так и под углом к ней. По поверхности закрытых трещин отмечаются зеркала скольжения с гладкой поверхностью. Ширина раскрытия открытых трещин изменяется от первых мм, до десятков см, амплитуда смещения различная - от первых сантиметров, в локальных или оперяющих основной разлом смещениях, до десятков метров вдоль оси крупных разрывных нарушений. Заполнителем тектонических трещин выступает раздробленный кальцит. Зоны разрывных нарушений характеризуются повышенной трещиноватостью, слои деформированы в направлении смещения. В ряде случаев по разрывным нарушениям сочится вода, поступающая с поверхности из атмосферных осадков или в результате техногенных утечек.

Экзогенные трещины III типа представлены в массиве разноориентированной сетью тонких (в основном закрытых или шириной раскрытия до первых мм) трещин, образованных в результате разгрузки пород (трещины упругого распора) и их выветривания. В результате

разгрузки и разуплотнения глин при их приближении к земной поверхности происходит расширение имеющихся и образование новых трещин. Трещины выветривания наиболее активно развиваются в приповерхностных частях массива, имеют четко выраженную вертикальную зональность по степени трещиноватости с закономерным уменьшением степени трещиноватости с глубиной. Трещины такого типа имеют небольшую протяженность и формируются в основном по ранее сформировавшимся скрытым трещинам за счет выветривания стенок и увеличения ширины их раскрытия. На поверхности трещин имеются следы ожелезнения, образованные в процессе окисления железистых соединений за счет привноса в массив атмосферными водами кислорода.

Процессы выветривания проникают в глубину массива аргиллитоподобных глин, формируя кору выветривания, степень выветрелости которой закономерно изменяется с глубиной. В связи с этим важно понимать на какую глубину распространяется выветривание и как при этом изменяются характеристики пород.

В России существует несколько схем инженерно-геологического расчленения кор выветривания глин, различающихся по исследуемым породам и климатическим условиям [26, 28]. Применительно к аргиллитоподобным глинам миоцен-олигоценного возраста Г.С.Золотарев исследовал характер и скорость выветривания на примере придорожной выемки глубиной около 20 м в районе г. Адлера [24]. Выемка была сделана 30 лет назад и обнажила неветрелую толщу глин, сформировавшуюся в течение четвертичного периода. Данное исследование позволило получить представление о характере эпигенетического изменения свойств аргиллитоподобных глин при выветривании.

Выше выемки на пологом склоне скважинами вскрыт полный разрез коры выветривания аргиллитоподобных глин. Сверху вниз по разрезу коры выветривания Золотарев выделяет дисперсную и обломочную зоны [24]. Дисперсная зона представлена элювием мощностью до 30-40 см, в пределах

которой исходные глины полностью видоизменены. Под дисперсной зоной залегает обломочная зона, имеющая мощность более 10м. Обломочная зона делится на четыре горизонта - А, Б, В и Г (табл. 9). В таблице 9 представлены физические и физико-механические характеристики каждой из зон. Верхняя часть обломочной зоны (горизонт А) состоит из глинистой дресвы и щебня размером 1-3 см. Подзона Б представлена щебнем и плитками глины размером в среднем 4,7 см. Горизонт В сложен аргиллитоподобной глинистой толщей, сплошность которой нарушена многочисленными трещинами выветривания шириной 2-5 мм, разбивающими массив глины на плитки и глыбы размером 15-20 см. В основании зоны выветривания (горизонт Г) залегает плотная аргиллитоподобная глина, разбитая на глыбы отдельными трещинами выветривания. По физическим свойствам породы этого горизонта претерпели минимальные изменения по сравнению с коренными невыветрелыми породами.

Из исследований, проведенных Г.С.Золотаревым, следует, что процессы выветривания проникают в аргиллитоподобные глины на глубину более 10м и формируют обломочную зону с горизонтами разной степени выветрелости. При этом характеристики выветрелой толщи, по сравнению с невыветрелой, существенно отличаются: с глубиной почти в 6 раз возрастает прочность на одноосное сжатие, сцепление увеличивается в 10 раз, пористость и влажность снижается в два раза. Данные Золотарева подтверждаются и дополняются исследованиями автора, проведенными в процессе написания настоящей работы.

Таблица 9

Изменение состава и свойств миоцен-олигоценых глин Черноморского побережья Кавказа при выветривании (Золотарев, 1983)

Зоны выветривания	Описание выветрелых пород и показатель степени выветрелости, V_c	Карбонатность, %	$Fe_2O_3 \cdot H_2O$, %	Влажность, %	Пористость n , %	Скорость упругих волн, V_p м/с	Сопротивление одноосному сжатию, R , МПа	Угол внутреннего трения, ϕ°	Сцепление, C , МПа
Дисперсная	Глины буро-желтые и серые, ожелезненные, с редкой мелкой щебенкой, однородные	0	4,3	30,7	47	-	0,22	13-15	0,01-0,04
Обломочная с горизонтами	А Дресва и щебень глин (1-3см) буровато-желтых, сильно ожелезненных рыхлого сложения, $V_c = 0,9 - 1,0$	Следы	7,8	24-30	44-49	200-400	0,2	7-11	0,03-0,04
	Б Щебень и плитки глин, размером 4-7 см, сильноожелезненных, легко разрабатываемых, $V_c = 0,6$	0,15-0,2	2,9-3,4	22-24	40-42	600	0,28-0,54	13	0,04
	В Глины плотные, разбиты трещинами выветривания на плитки и глыбы размером 15-20 см, ожелезненные, разрабатываются трудно, $V_c = 0,6$	3,2-4,8	2,7-2,9	27-30	37-40	1300-1600	0,4-0,7	10	0,1
	Г Глины очень плотные, разбитые отдельными ожелезненными трещинами выветривания на глыбы, $V_c = 0,3$	4,9	2,6	22	32-31	2500	0,79	-	-
	Вне зоны выветривания	8-17	1,7-1,8	16-20	24-30	До 3000	До 1,2	10-15	0,18-0,40

4.2. Прогноз поведения аргиллитоподобных глин при вскрытии и увлажнении.

Исследования, проведенные в процессе написания данной работы, позволяют спрогнозировать изменения физических и физико-механических характеристик аргиллитоподобных глин в массиве при нарушении его естественного сложения и увлажнении применительно к геологическим условиям конкретной строительной площадки и вида строительства.

В лабораторных условиях на образцах аргиллитоподобных глин были смоделированы процессы, происходящие с глиной в природных условиях и при техногенном воздействии. Результаты исследований показали, что при нарушении естественных условий залегания и взаимодействии с водой в глинах происходят необратимые изменения физических и физико-механических характеристик.

Уменьшение влажности в образце природного сложения при высыхании влечет за собой усадку глин и образование многочисленных трещин усыхания, по которым образец распадается на отдельные части. В массиве этот процесс происходит при вскрытии свежих слоёв пород, находящихся под бронирующей их элювиальной толщей, и контакте с окружающей средой. В результате усадки приповерхностные слои аргиллитоподобных глин растрескиваются, что способствует фильтрации атмосферных осадков в глубину массива.

При замачивании аргиллитоподобные глины проявляют набухание. Как показывает опыт с циклическим набуханием и усадкой глин, величина свободного набухания может достигать 54%. С каждым последующим циклом набухания и усадки вместе с величиной набухания возрастает и давление набухания. Так при первом увлажнении при величине набухания 34% давление набухания достигает 0,032 МПа, а уже к пятому циклу набухания после усадки при величине набухания 43% давление набухания увеличивается в 5 раз и достигает 0,169 МПа. Вместе с этим происходят микроструктурные изменения в глинах. Прочные переходные контакты

ионно-электростатической природы разрушаются, преобразуясь в точечные, а затем и в коагуляционные. При высушивании после набухания восстанавливаются точечные контакты, но переходные ионно-электростатические контакты, характерные для природного сложения глин, не восстанавливаются, что подтверждается микроструктурными исследованиями глин и лабораторными испытаниями. В результате массив глин претерпевает необратимые изменения, влекущие за собой ухудшение прочностных и деформационных характеристик.

На подрезанной поверхности горных выработок в результате циклического набухания и усадки с высокой скоростью начинает образовываться элювиальный слой, в основном представленный дресвяно-щебенистым грунтом с глинистым заполнителем. На склонах это приводит к образованию осыпей и обвалов в течение нескольких суток после подрезки (рис. 45). При длительном нахождении склона во вскрытом и не изолированном от внешних воздействий состоянии, образуются мощные осыпи и оползни, при этом склон приобретает характерный рельеф с глубокими эрозионными врезами (рис. 46). В его основании накапливаются продукты выветривания - глина с включениями дресвы и щебня песчаников и аргиллитов.

Набухание способствует раскрытию существующих в массиве трещин различного генезиса (мелких литологических и крупных тектонических), что часто является причиной крупных вывалов при подрезке склонов и проходке подземных горных выработок (рис. 47).

После набухания существенно изменяются прочностные свойства аргиллитоподобных глин, что наглядно показывает серия испытаний глин на сдвиг при различной влажности и величине набухания. В природном сложении массив аргиллитоподобных глин характеризуется высокими значениями сцепления и угла внутреннего трения - $\varphi = 44^\circ$, $C = 149$ МПа, что обуславливает его устойчивость и хорошую несущую способность.



Рис. 45. Склон аргиллитоподобных глин спустя 5 дней после подрезки.



Рис. 46. Неукрепленный после подрезки склон аргиллитоподобных глин.



Рис. 47. Поверхность скола после крупного вывала по секущей слою трещине на подрезанном склоне аргиллитоподобных глин.

При увеличении влажности и росте набухания прочностные характеристики резко падают. Так, при повышении влажности в 2 и 3,5 раза и величине набухания 16 и 40%, угол внутреннего трения уменьшается до 31 и 28°, а сцепление - до 130 и 53 МПа соответственно. После цикла набухания и усадки угол внутреннего трения сохраняется неизменным, а сцепление падает до 34 МПа. Необходимо обратить особое внимание на то, что после высушивания глин и восстановления исходных физических свойств, прочностные свойства не восстанавливаются и значения составляют $\varphi = 29^\circ$, $C = 78$ МПа, что значительно ниже значений в природном состоянии. Прочностные характеристики глин, претерпевших набухание в массиве, существенно снижаются, при этом процесс носит необратимый характер, что негативным образом сказывается на устойчивости и несущей способности массива.

Необходимо также отметить, что микроструктурные особенности строения аргиллитоподобных глин обуславливают многостадийность и

протяженность во времени процесса набухания и ухудшения прочностных характеристик. Это обусловлено тем, что при гидратации глин вода не сразу разрушает все макро- и микроагрегаты, сформированные глинистыми частицами. Вода сначала разрушает наиболее неустойчивые к гидратации агрегаты, а с течением времени разрушаются и набухают остальные - более устойчивые. Как показывают исследования, полное разрушение и набухание всех агрегатов при постоянном либо циклическом увлажнении происходит за срок от одного до двух месяцев.

Вместе с прочностными, при увеличении влажности и росте набухания глин, изменяются и деформационные характеристики. В массиве при естественной влажности глины характеризуются низкой сжимаемостью и высокими значениями модуля общей компрессионной деформации - от 54 до 62 МПа. Но при увеличении влажности глин в 2-3 раза и набухании 20 -35%, деформационные характеристики ухудшаются и модуль компрессионной деформации снижается до 10 - 20 МПа. По достижении глинами мягкопластичного и текучепластичного состояния, величина набухания достигает 50 - 57% со значениями модуля компрессионной деформации после набухания от 2 до 4 МПа.

Принимая во внимание то, что при увлажнении и набухании резко ухудшаются прочностные и деформационные характеристики глин, важно знать до какой глубины в массиве могут проявляться процессы набухания.

Глубина, на которую распространяются процессы набухания в глинах, может быть определена по результатам опытов определения параметров набухания глин под нагрузками. В массиве глины находятся под нагрузкой вышележащей толщи пород в условиях всестороннего сжатия. По трещинам фильтруются подземные воды, с поверхности просачиваются атмосферные осадки, за счет чего массив глин находится в увлажненном состоянии. Давление набухания, создаваемое глинами при увлажнении, составляет 0,17 МПа, что соответствует давлению, создаваемому вышележащей грунтовой толщей на глубине 7-10 м от поверхности земли. С уменьшением глубины

залегания от поверхности земли уменьшается давление от вышележащей толщи грунтов. Вследствие этого величина и интенсивность набухания увеличивается, вместе с этим растет количество трещин, увеличивается общая пустотность массива и уменьшается его плотность. Эти выводы хорошо коррелируются с данными, полученными Г.С.Золоторевым при обследовании придорожной выемки, сделанной в массиве аргиллитоподобных глин в районе г. Адлера, где он выделяет 10-ти метровую обломочную зону выветривания [24]. Прочностные и деформационные характеристики этой зоны намного слабее, чем у не затронутых процессами выветривания глин.

Анализ результатов лабораторных исследований и построенный на основании этих исследований прогноз поведения массива аргиллитоподобных глин при нарушении естественного сложения и замачивании позволяет сформировать рекомендации по проведению строительных работ в местах распространения аргиллитоподобных глин.

4.3. Рекомендации по проведению строительных работ в местах распространения аргиллитоподобных глин.

При проведении инженерно-геологических изысканий и строительном освоении необходимо учитывать особенности аргиллитоподобных глин, связанные с изменением их физико-механических характеристик при вскрытии и замачивании.

Строительные работы всегда связаны с планированием территории, подрезкой склонов, устройством котлованов, подземными выработками (в случае строительства тоннелей и коллекторов). Все эти мероприятия нарушают естественное залегание аргиллитоподобных глин и занимают длительное время, достаточное для того, чтобы характеристики глин существенно изменились относительно природных.

Как уже говорилось ранее, процессы набухания в глинах при снятии горного давления способны происходить на глубине от 7 до 10 метров.

Наряду с этим происходит разуплотнение толщи, появление новых трещин и раскрытие имеющихся. При открытом способе организации котлованов и подрезке склонов снимается поверхностный слой глин, обнажаются свежие слои, дождевые и техногенные воды замачивают глины со вскрытой поверхности и фильтруются в глубину выработки. Вода, которая просочилась в массив глин за время производства работ, провоцирует в них набухание. Природные прочностные и деформационные характеристики глин после замачивания и набухания ухудшаются и после высушивания уже не восстанавливаются. По этой причине нельзя допускать длительного нахождения выработок во вскрытом состоянии и замачивания вскрытой толщи глин. Обязательным в таких случаях является организация эффективного водоотведения.

При проходке подземных выработок, например тоннелей, по периметру выработки образуется зона разуплотнения с повышенными трещиноватостью и водопроницаемостью. В этой зоне за счет снятия всестороннего горного давления глины начинают разуплотняться и набухать. Помимо расчетной нагрузки на конструкцию временной обделки тоннеля начинает действовать давление набухания глин, что может спровоцировать деформацию конструкции тоннеля и вывалы пород. Необходимо также учитывать мощность толщи аргиллитоподобных глин над кровлей тоннеля до дневной поверхности и степень её устойчивости, которая может быть изменена относительно природной техногенными воздействиями. Разуплотненные зоны в аргиллитоподобных глинах могут накладываться друг на друга и создавать риск обрушения тоннеля. На рис. 48 схематично показан пример ситуации, когда в процессе строительства дома по периметру котлована образовалась зона разуплотнения глин, так же, как и вокруг створа тоннеля, который проходит под домом на глубине до 15-ти метров. В этом случае устойчивость всей толщи над тоннелем значительно снижается.

В процессе проходки тоннелей также важно учитывать пространственную ориентировку основных систем секущих и параллельных

слоистости трещин, так как на их сопряжении могут возникать крупные вывалы. В массивах аргиллитоподобных глин это особенно важно, учитывая их способность к набуханию и разуплотнению, что приводит к существенному снижению устойчивости стен и свода выработок. В зонах повышенной трещиноватости и разрывных нарушений часто наблюдается активизация водопритока до струйчатого капеза и сплошных струй.

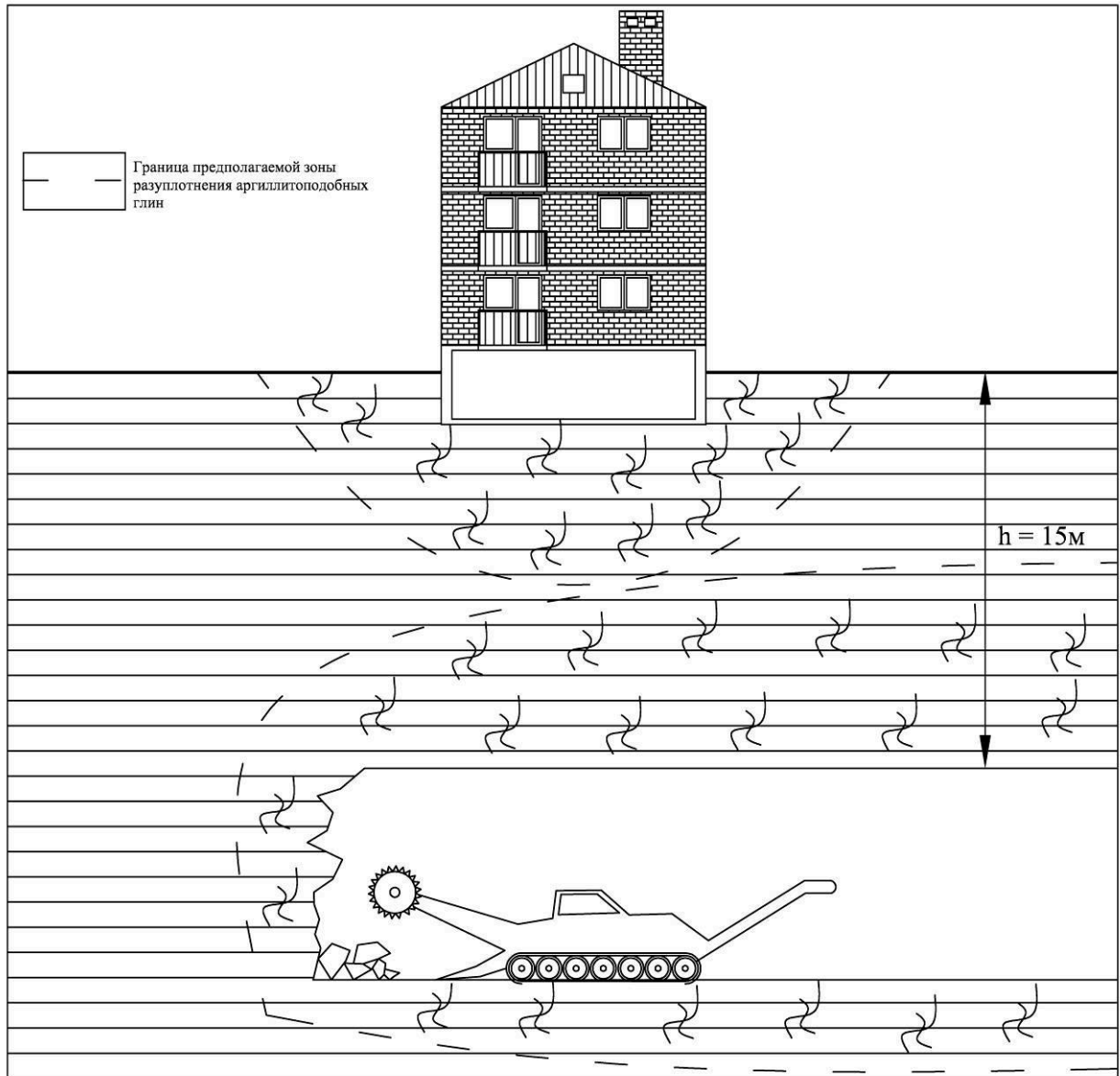


Рис. 48. Образование зон разуплотнения аргиллитоподобных глин в результате техногенного воздействия.

Подрезаемые склоны, сложенные аргиллитоподобными глинами, нуждаются в закреплении. Укрепление подрезаемых склонов сплошным шпунтовым рядом свай может вызвать подпор и последующий подъём

уровня грунтовых вод (рис. 49). С подъемом уровня грунтовых вод возрастает давление на подпорную стену за счёт замачивания и набухания толщи глин. Давление набухания при этом может достигать 0,17 МПа, что может превысить расчетную нагрузку и вызвать деформацию конструкций.

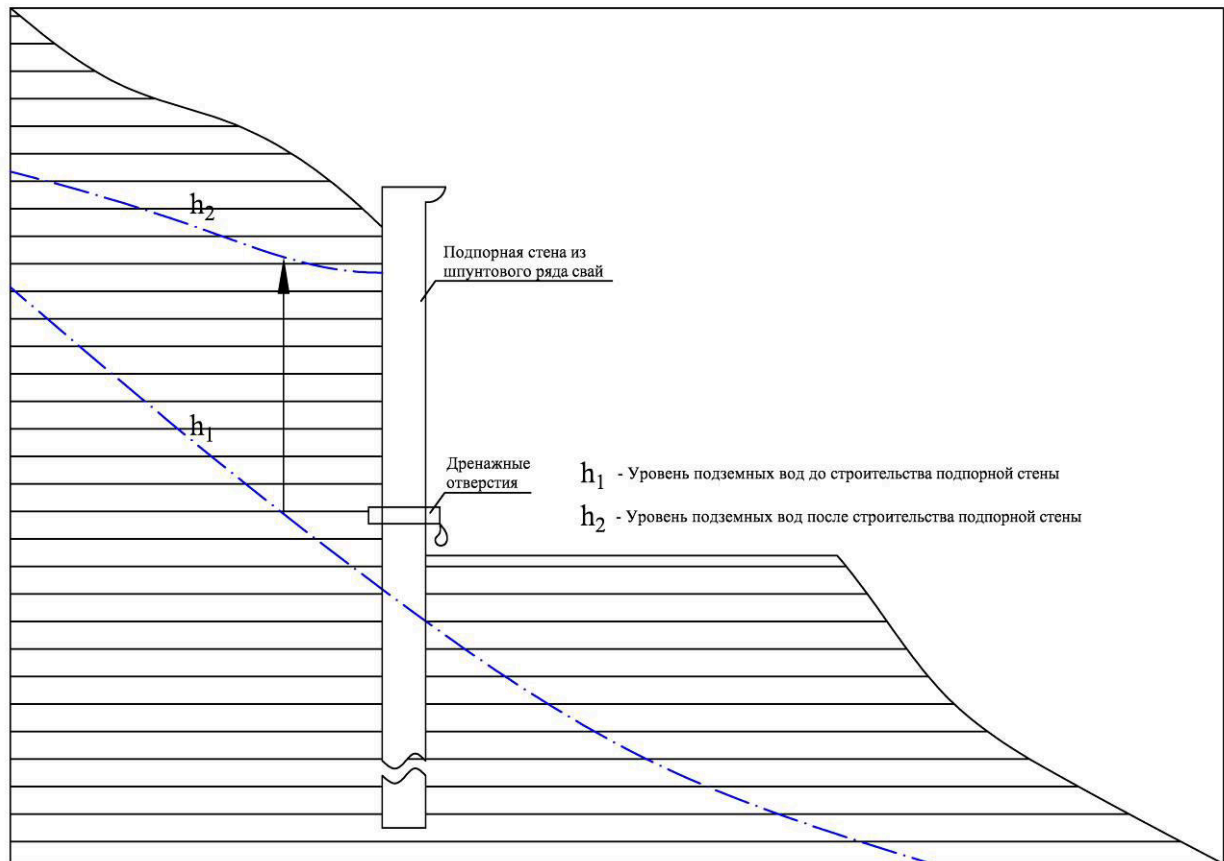


Рис. 49. Строительство подпорной стены из сплошного шпунтового ряда свай без организации эффективного дренажа подземных вод.

При подрезке и укреплении склонов, сложенных аргиллитоподобными глинами, необходимо организовывать эффективную дренажную систему, которая будет поддерживать уровень грунтовых вод не выше природного. Дренаж рекомендуется проводить путем перфорации нижней части подпорной стены с заполнением пространства между подпорной стеной и глинами дренирующим грунтом (щебнем крупной фракции с песком). Выше подпорной стены на поверхности склона следует проложить водоотводящие лотки.

Работы по подрезке крупных склонов рекомендуется проводить после их предварительного укрепления шпунтовым рядом свай во избежание возникновения обвалов и оползней.

Использовать выбранный грунт вторично с целью возведения насыпи, заполнения пространства между подпорной стеной и склоном и отсыпки дорог нельзя, так как в нарушенном сложении (в виде щебня и глыб) глины быстро растрескиваются, размокают и приобретают пластичную консистенцию.

Важно оценить и спрогнозировать до какой степени прочностные и деформационные свойства аргиллитоподобных глин подвергнутся изменению в массиве в результате техногенного воздействия и при проектировании принимать характеристики не природной, а уже измененной толщи глин. Рекомендации для проведения строительных работ на каждой отдельной строительной площадке необходимо составлять исходя из особенностей геологического строения массива и с учетом изменения свойств глин в процессе строительства и эксплуатации сооружений.

Несоблюдение рекомендаций по проведению строительных работ в местах распространения аргиллитоподобных глин может привести к негативным последствиям как во время строительства, так и в процессе эксплуатации сооружений, некоторые примеры которых приведены в следующей главе.

5. ВЛИЯНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРГИЛЛИТОПОДОБНЫХ ГЛИН ПРИ НАРУШЕНИИ ИХ ЕСТЕСТВЕННОГО СЛОЖЕНИЯ И ГИДРАТАЦИИ НА УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В РАЙОНЕ Г. СОЧИ

Глобальное строительство, которое развернулось в период с 2008 по 2014 годы и продолжается по настоящее время в городе Сочи и на прилегающих к нему территориях, потребовало от специалистов различных сфер деятельности колоссальных усилий для достижения поставленных перед ними целей. В кратчайшие сроки возводились десятки уникальных сооружений, улучшалась инфраструктура города за счет расширения существующих дорог и строительства новых транспортных артерий, многоуровневых развязок и тоннелей.

Во время проведения работ был получен неоценимый опыт использования новейших отечественных и зарубежных технологий при проведении инженерных изысканий, применения уникальных конструктивных решений в строительстве с учетом сложного геологического строения территории и сильной расчлененности рельефа.

Но несмотря на все приложенные усилия, не удалось избежать проблем в процессе строительства многих объектов. Часто возникали аварийные ситуации, препятствующие завершению строительства отдельных объектов в запланированные сроки. Одной из основных причин возникновения аварийных ситуаций на объектах является недостаточное изучение инженерно-геологических свойств грунтов основания сооружений, представленных отложениями аргиллитоподобных глин сочинской свиты ($Pg_3s\check{c}$), мощность которых в некоторых районах города достигает 800 метров.

Ниже приведены примеры некоторых из многочисленных аварийных ситуаций, возникавших на строительных объектах в местах распространения аргиллитоподобных глин сочинской свиты.

Автодорожная развязка на пересечении улицы Транспортная со съездом с автомобильной дороги «Обход города Сочи»

При строительстве автомобильной транспортной развязки в двух уровнях на пересечении улицы Транспортной со съездом с автомобильной дороги «Обход города Сочи» около Сочинской ТЭС были проведены работы по подрезке прилегающего склона в виде закругленных террас [106]. В основании подрезки располагается кольцевая развязка. Высота подрезаемого склона около 30м (рис. 50, 51).



Рис. 50. План-схема автодорожной кольцевой развязки по ул. Транспортная.



Рис. 51. Объёмная модель автодорожной кольцевой развязки по ул. Транспортная с подрезаемым склоном.

Подрезаемый склон сформирован природными эрозионными процессами и до начала планирования территории не был подвержен техногенным воздействиям. По результатам обследования второй сверху ступени, образованной в результате подрезки склона (рис. 52), наиболее полно характеризующей зоны выветривания, сверху вниз по разрезу выделяются следующие слои:

- с поверхности до глубины 0,5-0,7м залегает делювиальный слой, представленный глиной бурого цвета от твердой до полутвердой консистенции с редким щебнем аргиллитов;

- от 0,5-0,7 до 3,5-4,5м - обломочная зона выветривания аргиллитоподобных глин. Обломочная зона представлена глинистым щебнем и дресвой серо-бурого цвета с глинистым заполнителем до 15-20%. Грунты в этой зоне частично сохраняют черты слоистой структуры материнской породы;

- с глубины 3,5-4,5м до основания ступени подрезки залегает обломочная зона аргиллитоподобной глинистой толщи, сплошность которой нарушена многочисленными трещинами выветривания как закрытыми, так и шириной раскрытия до 2-3мм и тектоническими нарушениями с небольшой амплитудой смещения до 5-15 см, разбивающими массив глины на плитки и глыбы преобладающим размером до 0,7-1,0м. По трещинам выветривания и тектоническим нарушениям наблюдается ожелезнение в результате просачивания по ним воды из атмосферных осадков.



Рис. 52. Вторая ступень террасируемого склона Транспортной развязки.

Все ступени, расположенные ниже по террасируемому склону, также вскрывают делювиальные отложения, обломочные щебенистую и глыбовую зоны (рис. 53, 54). Ни одна из ступеней подрезки не вскрывает незатронутую процессами выветривания толщу аргиллитоподобных глин.



Рис. 53. Три верхние ступени террасируемого склона Транспортной развязки.



Рис. 54. Общий вид террасируемого склона.

На третий день после подрезки склона после кратковременных ливневых осадков на подошве второй ступени образовались трещины отрыва

шириной раскрытия до 5-8 см, в результате чего от массива отделился оползневой блок размером 3х4 м (рис. 55).



Рис. 55. Трещина отрыва на подошве второй ступени подрезки склона.



Рис. 56. Развитие оползневой структуры на подошве второй ступени подрезки склона.

На четвертый день образовались новые трещины отрыва, охватившие почти всю площадь подрезанной ступени склона. Тело оползня увеличилось в размерах до 4м в поперечном и 8-10м в продольном сечении (рис. 56).

Причиной образования оползней на склонах, сложенных аргиллитоподобными глинами, является нарушение природного сложения грунтового массива с последующим замачиванием атмосферными осадками. Усугубляет положение то, что ступени сформированы в коре выветривания глин, наиболее активно подверженной оползневым процессам.

С течением времени, во время производства работ по террасированию склона оползневые процессы проявлялись на всех ступенях подрезки, вследствие чего проектную глубину подрезки пришлось увеличить. Увеличение глубины подрезки склона, по мнению строителей, должно было обеспечить его устойчивость за счет вскрытия более крепких, в меньшей степени затронутых выветриванием слоёв аргиллитоподобной глины. Но процессы выветривания этим решением остановить невозможно, учитывая тот факт, что гидроизоляция и водоотведение на террасированном склоне не будут организованы. Более того, на каждой ступени планируется строительство габионов, которые не укрепляют склон, а наоборот дополнительно нагружают его и хорошо фильтруют атмосферные осадки.

Работы по подрезке склонов рекомендуется проводить с предварительным укреплением грунтового массива шпунтовыми рядами свай за линией подрезки, во избежание обрушения подрезанных склонов и образования оползней.

*Строительство промежуточного доступа к тоннелям №№ 8 и 8а.
Деформации подпорных сооружений.*

На пересечении улиц Виноградная и Фадеева ведется строительство промежуточного доступа, от которого одновременно в северном и южном направлениях намечается строительство тоннелей 8 и 8а [103] (рис. 57). Укрепление стенок портала производилось с помощью сооружения шпунтового ряда свай, заглубленных ниже поверхности планировки портала

на 15м и плотно прилегающих друг к другу. Дренаж грунтовых вод был организован посредством вбитых в межсвайное пространство металлических труб без отсыпки пространства между сваями и грунтовым массивом дренирующими крупнообломочными грунтами (рис. 58). В результате произошел подпор грунтовых вод, замачивание грунтового массива и, как следствие, набухание аргиллитоподобных глин. Это привело к деформации подпорных сооружений.



Рис. 57. Промежуточный доступ к тоннелям 8 и 8а. Подпорные сооружения из шпунтового ряда свай.



Рис. 58. Промежуточный доступ к тоннелям 8 и 8а. Устройство водоотведения в подпорных сооружениях из шпунтового ряда свай.

После выявления наличия деформаций в телах свай возникла необходимость дополнительного укрепления конструкции четырьмя рядами горизонтально забуренных анкеров, которые временно приостановили процесс деформаций.

Северный портал тоннеля №6. Деформации подпорных сооружений.

В июне - июле 2011 года между улицами Клубничная и Виноградная проводились работы по строительству тоннеля №6 с укреплением стенок северного портала [74]. Укрепление производилось тем же способом, как и при строительстве тоннелей №№ 8 и 8а из промежуточного доступа с помощью сплошного шпунтового ряда буронабивных свай. Плохая организация водоотведения привела к замачиванию толщи аргиллитоподобных глин и деформациям подпорных сооружений (рис. 59). Дренажная система отсутствовала, из-за чего уровень грунтовых вод поднялся, замочив грунтовый массив вокруг портала. Грунтовые воды просачивались сквозь небольшое межсвайное пространство.



Рис. 59. Укрепительные сооружения на северном портале тоннеля №6.
Строительство тоннелей №№ 8 и 8а. Обрушение конструкции жилых зданий над створом тоннеля.

3 марта 2013 года в районе пересечения улиц Виноградная и Фадеева произошел вывал в тоннеле 8а объемом более 200м^3 . В результате аварии пострадали два дома, находившиеся непосредственно над створом тоннеля (рис. 60). Трехэтажный жилой дом провалился под землю на глубину около 5м. Высокоэтажный строящийся жилой дом устоял, но по всей конструкции образовались трещины шириной раскрытия до 2-3см. Оба дома восстановлению не подлежат.



Рис. 60. Дома, пострадавшие в результате аварии в тоннеле 8а 3 марта 2013 года.

Грунтами основания зданий, как и вмещающими грунтами тоннеля, являются аргиллитоподобные глины сочинской свиты. Проходка велась с опережающим закреплением массива грунта с помощью бурения и "ввинчивания" специальной установкой в грунт стекло-волоконных армоэлементов под разными углами на глубину до 12м (рис. 61). Стекловолоконные армирующие трубки удерживают массив от обрушения по всей калотте в процессе разработки, что согласно технологии позволяет производить проходку тоннеля большими интервалами (до 10м) [85]. Грунтовый массив, окружающий выработку, закреплялся с помощью арочной набрызгбетонной крепи согласно новоавстрийскому методу крепления выработок [8]. Но используемой технологии закрепления грунтового массива оказалось недостаточно, чтобы удержать вышележащий массив аргиллитоподобных глин, так как закрепление таким способом обеспечивает устойчивость стенок калотты, но не всего массива в целом. Поэтому при выявлении ослабленного массива проходку следует вести короткими интервалами с незамедлительным усиленным закреплением свода тоннеля.



Рис. 61. Забой тоннеля 8а. Грунтовый массив аргиллитоподобных глин, закрепленный с помощью стекловолоконных армирующих элементов.

После вскрытия происходит разгрузка внутренних напряжений в грунтовом массиве с образованием множества новых трещин. В трещины попадает грунтовая вода, что влечет за собой утяжеление массива и набухание аргиллитоподобных глин.

В месте вывала мощность грунтовой толщи аргиллитоподобных глин над тоннелем не превышала 20-25м. При строительстве зданий природное сложение толщи было нарушено с поверхности, а при строительстве тоннеля - снизу (изнутри). Нарушение естественного залегания грунтовой толщи сверху и снизу одновременно спровоцировало процессы разуплотнения, набухания, уменьшения прочности глин и, как следствие, обрушение массива.

Реконструкция автодороги с расширением проезжей части и подрезкой прилегающих склонов по ул. Транспортная.

В июне-июле 2010 года по улице Транспортная велись работы по реконструкции автодороги с расширением проезжей части и подрезкой прилегающих склонов, сложенных глинами сочинской свиты (рис. 62).



Рис. 62. Реконструкция автодороги по ул. Транспортная с расширением проезжей части и подрезкой прилегающих склонов.

В процессе производства строительных работ строители столкнулись с активным осыпанием, оползанием и обвалами подрезаемого склона, что требовало дополнительных усилий по его закреплению бетонными плитами и металлической сеткой. Осложнялось это тем, что в связи с дефицитом места для расширения, подрезка склона производилась вертикально.

В основании подрезанного склона закладывался свайный фундамент из армированных бурозаливных свай диаметром 90мм и глубиной заложения от 7 до 15м (в зависимости от высоты подрезанного склона). Бурозаливные сваи

объединялись железобетонным ростверком, на котором возводилась монолитная железобетонная забирка с устройством деформационных швов с интервалом 5-7м (рис. 63).



Рис. 63. Строительство подпорной стены у основания подрезанного склона.

На завершающей стадии строительства в ноябре-декабре 2011г, пространство между подпорными стенами и подрезанным склоном было заполнено глинистым материалом, в том числе выбранной из склона глиной сочинской свиты (рис. 64).



Рис. 64. Пространство между подрезанным склоном аргиллитоподобных глин и подпорной стеной заполнено глинистым материалом, в том числе выбранной из склона глиной сочинской свиты.

Над подпорной стеной проходит автодорога. Верхняя часть засыпки в промежутке между подпорной стеной и автодорогой с поверхности декоративно засыпана крупным щебнем без устройства поверхностной гидроизоляции и водоотводных лотков (рис. 65). Поверхностные сточные воды легко проникают вглубь глинистой засыпки, увлажняя её и провоцируя процессы набухания аргиллитоподобных глин, содержащихся в засыпном грунте.

В основании подпорных стен заложен водоотводной лоток и оборудован дренаж в виде ряда отверстий без отсыпки дренажной зоны за подпорной стеной крупнообломочным фильтрующим воду грунтом (рис. 66).



Рис. 65. Верхняя часть засыпки декоративно отсыпана слоем крупнообломочного материала.

Через 5 месяцев после завершения строительства были зафиксированы деформации подпорных сооружений. Общие горизонтальные смещения по верхней части стен достигали 5-10см, а относительные, по деформационным швам - 3-5см (рис. 67). Конструкция подпорных стен не предусматривала дополнительное усиление анкерами, но после выявления многочисленных прогрессирующих деформаций конструкции, возникла необходимость в усилении подпорных сооружений двойным рядом анкеров, забуренных под углом 30-35 ° в грунтовый массив.



Рис. 66. Общий вид подпорных стен с водоотводным лотком, двойным рядом анкеров и дренирующими отверстиями.



Рис. 67. Деформации подпорных сооружений на ул. Транспортная.

Устройство двойного ряда анкеров замедлило процессы деформаций подпорных стен, но не устранило причину.

Незакрепленные участки склонов по ул. Транспортная

В промежутках между подпорными стенами вдоль ул. Транспортная остались незакрепленные склоны. Эрозионные процессы на подрезанных и незакрепленных склонах, сложенных аргиллитоподобными глинами, протекают с большой скоростью. Верхний элювиальный слой, разрушенный до состояния дресвы и щебня с глинистым заполнителем, смывается поверхностными потоками к основанию склона, обнажая менее выветрелые слои глин. Поверхностные потоки образуют глубокие эрозионные врезы, что увеличивает площадь выветривания (рис. 68).



Рис. 68. Незакрепленный склон, сложенный аргиллитоподобными глинами.

Приведенные примеры показывают, что аргиллитоподобные глины сочинской свиты обладают особыми свойствами, отличающими их от обычных аргиллитов. Свойства этих глин, главным образом их гидрофильность и вызванное этим резкое снижение устойчивости при насыщении водой, не были учтены при строительстве описанных объектов, что и привело к многочисленным аварийным ситуациям. Свойства аргиллитоподобных глин определяются особенностями их

микроструктурного строения и контактных взаимодействий между минеральными частицами, обусловленными историко-геологическими особенностями их формирования [61, 62].

ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ

Настоящая работа посвящена комплексным специализированным исследованиям аргиллитоподобных глин сочинской свиты, являющихся объектом активного строительного освоения в пределах города Большой Сочи. Были изучены их физико-механические свойства, минералогический состав, микроструктурные особенности в естественном сложении и при взаимодействии с водой. Результаты исследований, изложенные в диссертации, позволяют сделать следующие заключения.

1. Аргиллитоподобные глины сочинской свиты ($P_{g3s\check{c}}$) в пределах города Большой Сочи имеют широкое распространение и залегают в виде слоистой флишевой толщи с редкими прослоями песчаников. Строение и свойства глин обусловлены историко-геологическими особенностями формирования породы, в ходе которой они претерпели начальную стадию катагенетических преобразований на глубине не более 1500 - 2000 м и при температуре около 60 градусов. В результате глины обрели высокие значения плотности и прочности, в них сформировались переходные контакты ионно-электростатической природы, но цементации глинистых частиц и формирования устойчивых к гидратации фазовых контактов в них не произошло.

2. Установлено, что в аргиллитоподобных глинах глинистые частицы собраны в макроагрегаты, микроагрегаты и ультрамикроагрегаты, в которых они плотно поджаты и ориентированы под небольшим углом друг другу. В глинах преобладают переходные контакты, морфологически схожие с фазовыми и образованные за счет сил ионно-электростатической природы, но не устойчивые к гидратации. При вскрытии и замачивании они разрушаются и переходят в точечные, а при дальнейшем увлажнении - в коагуляционные. В естественном сложении глины имеют свойства, близкие к скальным грунтам - аргиллитам, но при замачивании они набухают. Набухание происходит в результате совокупности процессов: гидратации

межагрегатных, межмикроагрегатных и межультрамикроагрегатных переходных контактов ионно-электростатической природы с последующим разрушением агрегатов и увеличением дисперсности всей глинистой системы; проникновения молекул воды в межчастичное пространство; постепенного восстановления и роста диффузного слоя воды вокруг глинистых частиц; действия ионно-электростатического отталкивания гидратных пленок; разрушения переходных контактов ионно-электростатической природы с последующим разворотом и переориентацией глинистых частиц друг относительно друга с образованием точечных, а при дальнейшей гидратации и коагуляционных контактов.

Ранее переходный тип контакта между глинистыми частицами, образованный за счёт сил ионно-электростатической природы, был предсказан В.И. Осиповым и В.Н. Соколовым на основании новейших теоретических выкладок о микроструктурном взаимодействии глинистых частиц. В данной работе переходный ионно-электростатический контакт впервые был охарактеризован на примере существующей в природе глинистой толщи сочинской свиты.

3. При контакте с водой увеличивается влажность глин и происходит их набухание, прочностные и деформационные свойства снижаются. При повторении циклов замачивания и усадки возрастают давление набухания и величина набухания. Глины впитывают большее количество воды за счёт разрушения агрегатов и увеличения удельной поверхности дисперсной системы, увеличивается толщина гидратных пленок вокруг глинистых частиц, в глинах формируются точечные контакты, что приводит к снижению прочностных и деформационных характеристик. При длительном неограниченном взаимодействии с водой разрушаются точечные и формируются коагуляционные контакты, что приводит к еще большему снижению прочности.

4. Особенности аргиллитоподобных глин, заключающиеся в их неустойчивости к гидратации и способности к набуханию, не принимались

во внимание при проведении инженерно-геологических изысканий и строительстве, что привело к многочисленным аварийным ситуациям в процессе строительства и эксплуатации сооружений в г.Сочи. В исследовании свойств аргиллитоподобных глин должен использоваться особый методический подход, позволяющий выявлять их особенности и применять полученные данные при моделировании поведения глин в массиве при нарушении их естественного сложения в условиях конкретной строительной площадки.

5. Научно-методический подход, примененный в этой работе, может послужить основой для последующих исследований грунтов - аналогов не только в России, но и в странах зарубежья. Необходимо уделять особое внимание исследованию особенностей микростроения высоко литифицированных глин, определяющего все их физико-химические свойства.

В дальнейших исследованиях планируется изучить возможное формирование более прочных структурных связей в глинах при повышенном давлении и температуре.

Список литературы

а. Опубликованная

1. Баранов Г.И., Греков И.И. Геодинамическая модель Большого Кавказа. // В кн.: Проблемы геодинамики Кавказа. М.: Наука, 1982. С. 51-59.
2. Баранов Г.И., Омельченко В.Л., Пруцкий Н.И. Последовательность тектонических событий и их выражение в современной структуре Северного Кавказа. // В кн.: Основные проблемы геологического изучения и использования недр Северного Кавказа. Ессентуки, 1995. С. 63-77.
3. Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии // Минералогический сборник Львовского геологического общества. 1949. №3. С. 30-40.
4. Белый Л.Д. Геологическое строение скальных массивов. // в сб.: Инженерная геология скальных массивов. М.: Наука, 1976. С. 13-18.
5. Бондарик Г.К. Инженерно-геологические изыскания: учебник / Г. К. Бондарик, Л. Я. Ярг. М.: Изд-во КДУ, 2007. 424 с.
6. Временная схема сейсмического районирования Северного Кавказа. Институт физики Земли, М., 1993, (письмо Госстроя РФ № БЕ-19-12/8 от 01.02.1994), с. 3.
7. Геология СССР. Том IX. Северный Кавказ. Ч. 1. Геологическое описание / глав. ред. Сидоренко А.В., ред. Андрущук В.Л. М.: Недра, 1968. 760 с.
8. Главатских В.А., Молчанов В.С. Строительство метрополитенов: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / Под ред. В.А. Главатских. М.: Маршрут, 2006. 680 с.
9. Голодковская Г.А., Матула М., Шаумян Л.В. Инженерно-геологическая типизация и изучение скальных массивов. М.: Изд-во МГУ, 1986. 272 с.

10. Горькова И.М. Физико-механические исследования осадочных пород в строительных целях. М.: Стройиздат, 1975. 150 с.
11. Грабовско-Ольшевска Б., Осипов В.И., Соколов В.Н. Атлас микроструктур глинистых пород. Варшава: Pansowe Wydawnictwo Naukowe, 1984. 414 с.
12. Гроссгейм В.А. Палеоген Северо-Западного Кавказа. Тр. Краснодар. фил. ВНИИ, 1960. Вып. IV. 190 с.
13. Дашко Р.Э. Механика горных пород. М.: Недра, 1987. 263 с.
14. Дерягин Б.В., Зорин З.М. Исследование поверхностной конденсации и адсорбции паров // Журн. физ. химии. 1955. Т. 29. Вып. 10. С. 1755-1770.
15. Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Смачивающие пленки. М.: Наука, 1984. 137 с.
16. Джанджгава К.И. Инженерная геология шельфа и побережья Черного моря / под ред. К.И.Джанджгавы. М.: Наука, 1992. 117 с.
17. Джегер Ч. Механика горных пород и инженерные сооружения. / под ред. Г.С. Золотарева. М.: Мир, 1975. 254 с.
18. Докучаев В.В. Избранные труды / Под ред. академика Б.Б. Польшова. Академия наук Союза ССР. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 643 с.
19. Дриц В.А. Структурные и кристаллохимические особенности слоистых силикатов // Кристаллохимия минералов и геологические проблемы. М.: Наука, 1975. С. 94-105.
20. Дриц В.А., Коссовская А.Г. Глинистые минералы: слюды, хлориты // Тр. ГИН АН СССР. Вып. 465. М.: Наука, 1991. 176 с.
21. Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурный анализ смешанно-слоистых минералов. М.: Наука, 1976. 257 с.
22. Звягин Б.Б. Электронография и структурная кристаллография глинистых минералов. М.: Наука, 1964. 282 с.

23. Земятченский П.А. Глины СССР: Общая часть. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1935. 360 с.
24. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика. М.: Изд-во МГУ, 1983. 328 с.
25. Золотарев Г.С. Методика инженерно-геологических исследований : учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 1990. 384 с.
26. Золотарев Г.С. Современные задачи инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. // Вопросы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. М.: Изд-во МГУ, 1971. С. 4-25.
27. Зоненшайн Л.П., Деркур Ж., Казьмин В.Г. и др. Эволюция Тетиса. // В кн. История океана Тетиса М., 1987. С. 104-115.
28. Коломенский Н.В. Методические указания по изучению процессов выветривания горных пород для инженерно-геологических целей. М.: Изд-во МГУ, 1976. 232 с.
29. Котлов Ф.В. Роль антропогенных факторов в формировании инженерно-геологических свойств глинистых пород // Инженерно-геологические свойства глинистых пород и процессы в них (Тр. междунар. симп. 14-24 сентября 1971). М.: Изд-во МГУ, 1972. С. 183-196.
30. Куюнджич Б.Д. Анизотропия скальных массивов. / Б.Д. Куюнджич // В сб. Проблемы инженерной геологии. Вып. 2. М.: Изд-во иностр. Лит., 1960. С. 96 - 104.
31. Лаврищев В.А., Греков И.И., Башкиров А.Н. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Серия Кавказская. Лист К-37-IV : Объяснительная записка / ФГУП «Кавказгеосъёмка». 2-е изд. СПб: ВСЕГЕИ, 1999. 105 с.
32. Лебедько Г.И., Усик В.И. Геохронология Северного Кавказа. Ростов-Н/Д: Изд-во Ростовского университета, 1985. 147 с.

33. Леонов Г.П., Алимарина В.П. Вопросы стратиграфии нижнепалеогеновых отложений Северо-Западного Кавказа. М.: Изд-во МГУ, 1964. 203 с.
34. Логвиненко Н.В., Орлова Л.В. Образование и изменение осадочных пород на континенте и в океане. Л.: Недра, 1987. 235 с.
35. Ломизе М.Г., Суханов М.К., Цветков А.А. Кавказская окраина Тетиса в начале альпийского этапа. В кн.: Тектоника Средиземноморского пояса. М.: Наука, 1980. С. 172-179.
36. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. Л.: Недра, 1984. 380 с.
37. Манюшко А.М. О влиянии тектонического фактора на формирование инженерно-геологических свойств глинистых пород // Инженерная геология. 1979. №3. С. 55-64.
38. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. В 2-х томах. Том 1. Полевые методы / Под ред. Е.М. Сергеева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1984. 423 с.
39. Милановский Е.Е. Геологическое строение Кавказа / Е.Е. Милановский, В.Е. Хаин. М.: Изд-во МГУ, 1963. 355 с.
40. Мухин Ю.В. Процессы уплотнения глинистых осадков. М.: Недра, 1963. 200 с.
41. Несмеянов С.А., Измайлов Я.А. Тектонические деформации черноморских террас Кавказского побережья России. М., 1995. 238 с.
42. Осипов В.И. Внутрикристаллическое разбухание глинистых минералов // Геоэкология. 2011. №5. С. 387-398.
43. Осипов В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
44. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств М.: ГЕОС. 2013. 576 с.

45. Осипов В.И, Соколов В.Н., Еремеев В.В. Глинистые покрышки нефтяных и газовых месторождений. М.: Наука, 2001. 238 с.
46. Осипов В.И., Соколов В.Н. Роль ионно-электростатических сил в формировании структурных связей глин // Вест. МГУ. Сер. геол. 1974. №1. С. 16-32.
47. Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород. / под ред. академика Е. М. Сергеева. М.: Недра, 1989. 211 с.
48. Охотин В.В. Гранулометрическая классификация грунтов на основе их физических и механических свойств. Л.: Ленгострансиздат, 1933. 70 с.
49. Охотин В.В. Грунтоведение. Л.: Изд-во Военно-трансп. академии, 1940. 204 с.
50. Панюков П.Н. Инженерная геология. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1978. 296 с.
51. Плюшина И.И. Физико-химические особенности эволюции дисперсных систем в корках выветривания, в седименто- и литогенезе. Архангельск: Поморский ун-т, 2004. 367 с.
52. Приклонский В.А. Грунтоведение. Ч.1. М.: Госгеолиздат, 1955. 429 с.
53. Пущаровский Д.Ю. Рентгенография минералов. М.: Геоинформмарк, 2000. 292 с.
54. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1970. 158 с.
55. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. М.: Знание, 1958. 64 с.
56. Рухин Л.Б. Основы литологии. Л.: Недра, 1969. 703 с.
57. Сафронов И.Н. Геоморфология Северного Кавказа. Ростов-Н/Д.: Изд-во Ростовского Университета, 1969. 217 с.
58. Сергеев Е.М. Грунтоведение. М.: МГУ, 1959. 334 с.

59. Сергеев Е.М. Избранные главы общего грунтоведения. М.: Изд-во МГУ, 1946. 107 с.
60. Сергеев Е.М. Инженерная геология. М.: Изд-во МГУ, 1978. 384 с.
61. Сергеев Е.М. Теоретические основы и проблемы инженерной геологии. // В кн.: Докл. 27-го Международного геологического конгресса, секция С 17, Т.17. М.: Наука, 1984. С. 15-21.
62. Сергеев Е.М., Трофимов В.Т., Фадеев П.И. и др. Теоретические основы и проблемы инженерной геологии. Геологические основы. / Под ред. Е. М. Сергеева. М.: Недра, 1985. 327 с.
63. Соколов В.Н. Влияние влажности на прочность структурных связей глинистых частиц // Вестн. МГУ. Сер. геол. 1973. №6. С. 100-104.
64. Соколов В.Н., Румянцева Н.А., Ковбаса С.И. Особенности проведения количественного анализа структуры твердых тел по их РЭМ изображениям // Известия АН СССР. Сер. физ. 1988. Т. 52. № 7. С. 1350-1353.
65. Соколов В.Н., Чернов М.С., Шлыков В.Г. и др. Минеральные наночастицы в дисперсных грунтах // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2008. №9. С. 88-92.
66. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулина О.В., Мельник В.Н. Использование Фурье-анализа РЭМ-изображений для получения морфологических характеристик микроструктуры // Известия РАН. Сер. физ. 1998. Т. 62. №3. С. 450-454.
67. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулиноа О.В. Исследование микроструктуры грунтов с помощью компьютерного анализа РЭМ-изображений // Геоэкология. 2008. № 4. С. 377-382.
68. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулиноа О.В., Мельник В.Н. Автоматизированная система сшивки РЭМ изображений // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2002. № 10. С. 66-69.

69. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулиноа О.В., Мельник В.Н. Изучение характеристик микроструктуры твердых тел с помощью компьютерного анализа РЭМ-изображений // Известия РАН. Сер. физ. 2004. Т. 68. №9. С. 1332-1337.
70. Федоров П.В. Стратиграфия четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Черного моря. Вып. 88. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 159-160.
71. Филатов М.М. География почв СССР. М.: Государственное учебно-педагогическое издательство наркомпроса РСФСР, 1945. 344 с.
72. Филатов М.М. Основы дорожного грунтоведения. М.: Гострансиздат, 1936. 538 с.
73. Хаин В.Е., Афанасьев С.Л., Борукаев Ч.Б., Ломизе М.Г. Основные черты структурно-фациальной зональности и тектонической истории Северо-Западного Кавказа (в связи с перспективами нефтегазоносности). // В кн.: Геология Центрального и Западного Кавказа. Т.3. М.: 1962. С. 5-47.
74. Хаин В.Е., Афанасьев С.Л., Бурлин Ю.К. и др. Новые данные по геологии Северо-Западного Кавказа. // В кн.: Материалы по геологии и металлогении Центрального и Западного Кавказа. Т. 2. Ставрополь, 1960. С. 139-185.
75. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: Изд-во МГУ, 1995. 476 с.
76. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1983. 287 с.
77. Шлыков В.Г. Рентгеновские исследования грунтов. М.: Изд-во МГУ, 1991. 184 с.
78. Шлыков В.Г. Рентгеновский анализ минерального состава дисперсных грунтов. М.: ГЕОС, 2006. 175 с.
79. Щукин Е.Д. Некоторые задачи физико-химической теории прочности дисперсных структур // Физико-химическая механика и

- лиофильность дисперсных систем. Киев: Изд-во Наукова думка, 1981. С. 46-53
80. Щукин Е.Д. О некоторых задачах физико-химической теории прочности тонко- дисперсных пористых тел – катализаторов и сорбентов // Кинетика и катализ. 1965. Т. 6. N 4. С. 641-650.
 81. Япаскурт О.В. Основы учения о литогенезе. М.: Изд-во МГУ, 2005. 379 с.
 82. Baily S.W. The status of clay mineral structures // Proc. 14. Nat. Conf. on Clays and clay minerals. London: Pergamon Press. 1966. P. 1-3.
 83. Brindley G.W. The Kaolin Minerals, X-ray identification and strucyure of the clay minerals. Chap. II. Min. Soc. of Great Brinian, 1951. P. 32-75.
 84. Eberl, D.D., 2003, User's guide to RockJock -- A program for determining quantitative mineralogy from powder X-ray diffraction data: U.S. Geological Survey Open-File Report 2003-78, 47 p.
 85. Giovanni Barla. Tunnelling under squeezing rock conditions // Tunnelling Mechanics-Eurosummerschool, Innsbruck, (2001). PP.169-268
 86. Kezdi A. Handbook of Soil Mechanics // Soil Physics. 1974. V. 1. 294 p.
 87. Maurizio G., Eduardo G., Riccardo P. Stratigraphic evidence for Cimmerian events in NW Caucasus (Russia) // Bulletin de la Societe Geologique de France, (2005). P. 283-299.
 88. Mitchel J.K., Soga K. Fundamentals of Soil Behavior. (Third Edition). New York: John Willey and Sons, 2005. 577 p.
 89. Moore, D. M. and Reynolds Jr., R. C. (1989) X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals: Oxford University Press, Oxford.
 90. Paulig L. The Nature of Chemical Bond. NY.: Cornell Univ. Press, Jthaca, 1960.

91. Radoslovich E.W. The cell dimensions and symmetry of layer-lattice silicates. II. Regression relations // *Am. Mineralogist*. 1962. V. 47. P. 617-636.
92. Weaver Ch.E. Relations of composition to structure of dioctahedral 2:1 clay minerals // *Clays and clay minerals*. 1968. V. 16. P. 51-61.

б. Фондовая

93. Астахов С. М. Оценка углеводородного потенциала Туапсинского прогиба на основе методик бассейнового моделирования : автореф. дис. ...канд. геол.-мин. наук / С. М. Астахов. – Ростов н/Д., 2011. – 23 с.
94. Брагин Е. Д. Литолого-минералогические особенности и свойства четвертичных и олигоценых пород Сочинского района Черноморского побережья Кавказа в связи с оползнями : дисс. ... канд. геол.-мин. наук : 25.00.08 : защищена 1973 / Е. Д. Брагин. – Ростов – н/Д, 1973. – 181 с.
95. Государственная геологическая карта Российской Федерации Масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист К-37-IV. ФГУП «Кавказгеосъемка», 1999 г.
96. Лизогубова Р.Н. И др. Отчет по созданию комплекта специализированных карт г. Б. Сочи и прилегающей части Туапсинского района для обоснования документов территориального планирования города Б. Сочи и объектов ФЦП «Развитие г. Сочи как горноклиматического курорта (2006-2014гг.). Железноводск, 2007
97. Островский А.Б., Выстрочил М.В. и др. Отчет о результатах инженерно-геологической съемки масштаба 1:25000 Черноморского побережья Кавказа от г. Туапсе до г. Адлера (1967-1972г.г). Архив Лазаревской гидрогеологической партии .
98. Отчет о результатах геологосъемочных работ Лазаревской гидрогеологической партии за 1969-71 гг. (лист К-37-20-Б и южная

половина листа К-37-8-Г), Т. 1, 2 и 3 / Аземко Ю.П., Баев В.Г., Седов Н.В. СК РФ, 1971. 196 с.

99. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях «Газификация сел, поселков и центральной части Адлерского района. Газопровод межпоселковый к с. Вардане-Верино - ул. Петрозаводская с.Орел-Изумруд с отводом к с.Бестужевское», арх № 262-09/05-1п, ООО фирма «Ростов-Сталкер», Ростов-на-Дону, 2010г.
100. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях «Газификация сел, поселков и центральной части Адлерского района. Газопровод межпоселковый к с. Казачий Брод», арх № 262-09/06-1п, ООО фирма «Ростов-Сталкер», Ростов-на-Дону, 2010г.
101. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях «Газификация сел, поселков и центральной части Адлерского района. Газопровод межпоселковый с. Высокое - с. Молдовка (закольцовка)», арх № 262-09/10-1п, ООО фирма «Ростов-Сталкер», Ростов-на-Дону, 2010г.
102. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях «Совмещённая (автомобильная и железная) дорога Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» (проектные и изыскательские работы, строительство)», выполненные для разработки рабочей документации, арх. № 3020-2010, ЗАО «СевКавТИСИЗ», г. Краснодар, 2009г.
103. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях «Строительство центральной магистрали г.Сочи «Дублер Курортного проспекта» от км 172 федеральной дороги М-27 Джубга-Сочи (р.Псахе) до начала обхода города Сочи ПК0 (р.Агура) с реконструкцией участка автомобильной дороги от ул.Земляничная до Курортного проспекта, Краснодарский край", транспортный тоннель №6, выполненные для разработки рабочей документации ЗАО «Петербург–Дорсервис», г.Санкт-Петербург, 2011г.

104. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях «Строительство центральной магистрали г.Сочи «Дублер Курортного проспекта» от км 172 федеральной дороги М-27 Джубга-Сочи (р.Псахе) до начала обхода города Сочи ПК0 (р.Агура) с реконструкцией участка автомобильной дороги от ул.Земляничная до Курортного проспекта, Краснодарский край, (II очередь от ул.Земляничной до р.Сочи), (III очередь от р.Сочи до р.Псахе)», транспортные тоннели №8, 8а, выполненные для разработки рабочей документации ЗАО «Петербург–Дорсервис», арх № 2010-35-ИГИ-12.1, ЗАО «Петербург–Дорсервис», г.Санкт-Петербург, 2011г.
105. Пастушенко Ю.Н. Геологическое строение Сочинского артезианского бассейна. Фонды адлерского отдела СКО: Адлер. 1971.
106. Сводное заключение по результатам комплексных инженерных изысканий на площадке строительства Сочинской ТЭЦ и предложения по инженерной защите территории, ФГУП «ПНИИИС», г. Москва, 2002 г.
107. Щеглов А.П. Стратиграфия континентальных и морских отложений плейстоцена южного склона Северо-Западного Кавказа (между г. Анапой и г. Адлером): Автореф. дисс. канд. Геол-мин. наук. – Тбилиси, 1986. – 16 с.