

На правах рукописи



БАРАНОВСКИЙ АЛЕКСЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСТАВА, СТРОЕНИЯ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРОГНОЗА
(на примере г. Челябинска)**

Специальность 25.00.08 – «Инженерная геология, мерзлотоведение
и грунтоведение»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 2018

Работа выполнена в акционерном обществе «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве» (АО «ПНИИИС»), г. Москва

Научный руководитель - Доктор геолого-минералогических наук, главный специалист
отдела инженерно-геологических процессов АО «ПНИИИС»
Шешеня Николай Логвинович

Официальные оппоненты: Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры
гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии ФГБОУ
ВО «Уральский государственный горный университет»
(УГГУ)
Гуман Ольга Михайловна

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры
инженерной геологии ФГБОУ «Российский государственный
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
(МГРИ-РГГРУ)
Ярг Людмила Александровна

Ведущая организация – ФГБОУ «Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

Защита состоится « 10 » мая 2018 г. в ___ час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.048.01 при Институте Геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН) по адресу: 101000, Москва, Уланский переулок, д. 13, стр. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Института Геоэкологии РАН им. Сергеева по адресу: 101000, Москва, Уланский переулок, д. 13, стр. 2.

Просим вас принять участие в заседании совета по адресу: Москва, Николоямская улица, д. 51, стр. 1 или прислать отзыв (в 2-х экземплярах), заверенный печатью учреждения, на имя учёного секретаря диссертационного совета по адресу: 101000, Москва, Уланский переулок, д. 13, стр. 2, а/я 145, e-mail: gib74@mail.ru, факс +7 (495) 623-18-86.

Автореферат разослан “___” марта 2018 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 002.048.01,
кандидат геолого-минералогических наук

Батрак Глеб Игоревич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность выбранной темы. Увеличивающиеся темпы промышленно-гражданского строительства требуют усовершенствования методов получения геологической информации, изучения инженерно-геологических условий городских и прилегающей к городу территории, прогноза поведения грунтов под воздействием природно-техногенных факторов. Анализ изменчивости состава, строения и физико-механических свойств грунтов оснований зданий и сооружений, позволит выявить закономерности распределения основных показателей свойств грунтов, а также дать прогноз изменения их прочностных и деформационных характеристик, как на этапе строительства, так и во время эксплуатации зданий и сооружений.

Наиболее распространёнными грунтами оснований зданий и сооружений в пределах изучаемой территории, как по площади, так и по глубине являются элювиальные образования магматических пород, представленные глинами и суглинками.

Попытки исследовать грунты данного генезиса на территории города Челябинска проводились с 70-х годов прошлого столетия, но в силу разных причин так и не были исследованы достаточно хорошо.

Интерес и осложнения при строительстве на грунтах кор выветривания, вызывают просадочные свойства глинистого элювия.

Природа и закономерности проявления этого явления не изучены, также не охарактеризована изменчивость физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов по глубине и площади, что затрудняет прогноз прочностных и деформационных показателей в массиве грунта. Не ясно как элювиальные образования ведут себя после строительства зданий и сооружений.

Раскрытие заявленной темы позволит решить накопившиеся вопросы, что снизит объёмы инженерно-геологических изысканий.

Необходимость анализа изменчивости химико-минерального состава, строения и физико-механических свойств грунтов элювиального генезиса, а также составления прогнозов их изменения, регламентирована в соответствующих главах нормативных документов по инженерным изысканиям, в частности СП 11-105-97 ч. III.

Степень её разработанности. Отечественными (Н.В. Коломенский (1952), Е.М. Сергеев (1952), Л.И. Корженко (1963), Г.С. Золотарев (1971), Л.И. Афанасиади (1973), В.П. Маричев (1976), В.В. Лушников (1976), Л.И. Подкорытова (1976), С.Г. Дубейковский (1976), Ю.В. Сырокомский (1979), К.Г. Пшеничников (1979), Л.А. Ярғ (1974), В.Б. Швец (1993), И.В. Абатурова (2000) и мн. др.) и зарубежными (А.Л. Литтл (A.L. Little, 1969), П.Г. Фукек и др. (P.G. Fookes et al., 1977), Л.Д. Уисли, Т.Й. Ирфан (L.D. Wesley, 1988, L.D. Wesley, T.Y. Irfan, 1994)) учёными накоплен большой опыт в изучении кор выветривания для инженерно-геологических целей.

Их научные работы в существенной мере способствовали исследованию строения, состава и свойств элювиальных грунтов.

Однако в значительной части проводимые исследования рассматривают коры выветривания целиком, без предварительного расчленения их на отдельные зоны, а изменчивость показателей физико-механических свойств элювиальных грунтов рассматривается в отрыве от изменений в минеральном составе, структуре и текстуре элювия. Практически не изучена пространственно-временная изменчивость свойств элювиальных глинистых грунтов, в частности просадочность элювиальных глинистых грунтов и особенность её проявления.

Объектом исследований являются элювиальные глинистые грунты по магматическим породам, которые служат основанием зданий и сооружений.

Предметом исследований являются химический и минеральный состав, строение и физико-механические свойства элювиальных глинистых грунтов.

Идея работы. Изучение состава, строения и инженерных свойств элювиальных глинистых грунтов, позволит выявить особенности их изменчивости, что сделает возможным прогноз изменения их физико-механических свойств.

Целью работы является комплексное изучение изменчивости химико-минерального состава, строения и физико-механических свойств элювиальных глинистых образований для осуществления количественного прогноза изменения последних, а также снижения стоимости инженерно-геологических изысканий путём более рационального назначения объёма работ.

Основные задачи исследования:

- выявить особенности распространения элювиальных глинистых грунтов в пределах исследуемой территории;

- изучить изменчивость минералогического и химического состава элювиальных глинистых образований;
- изучить пространственно-временную изменчивость физико-механических свойств элювиальных глинистых образований;
- разработать территориальные таблицы нормативных значений механических свойств элювиальных глинистых грунтов;
- разработать территориальные таблицы нормативных значений относительной деформации просадочности (ϵ_{s1}) элювиальных глинистых грунтов.

Исходные материалы. В основу диссертационной работы положены материалы о составе, строении и физико-механических свойствах элювиальных глинистых грунтов за период 1963-2016 гг. Геологическая информация собрана и проанализирована, автором в 2010–2016 гг. В работе использованы результаты геологических и инженерно-геологических съёмок масштаба 1:500 - 1:50000, а также инженерно-геологические данные, содержащиеся в технических отчётах изыскательских и геологоразведочных организаций города Челябинска, среди которых: трест «ЮжУралТИСИЗ», «ЧелябТИСИЗ», «Инжгео», «Челябинскстройизыскания», ИФ «ЮжУралТИСИЗ», ФГУП «Челябинскгеосъёмка».

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в сборе, обработке и анализе данных о составе, строении и физико-механических свойствах элювиальных глинистых грунтов; построении карт полей физико-механических показателей элювиальных глинистых грунтов; оценке пространственно-временной изменчивости физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов; составлении местных таблиц нормативных показателей механических свойств и относительной деформации просадочности элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов.

Методология и методы диссертационного исследования. Основные положения и выводы диссертационной работы основаны на полевых, лабораторных и теоретических исследованиях элювиальных глинистых грунтов города Челябинска, проведённых автором в течение нескольких лет.

Химический состав элювиальных глинистых образований определён методом силикатного анализа, минеральный состав – рентгеноструктурным методом.

Микроструктурные характеристики элювиальных глинистых грунтов изучались на комплексе растровой электронной микроскопии РЭМ-микро ЭВМ.

Карты полей физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов строились в программе «Surfer 8».

Полевые и лабораторные исследования физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов произведены по одной методике. Методика проведения данных работ отражена в соответствующей нормативной литературе: ГОСТ 5180 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик»; ГОСТ 12248 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости».

Алгоритм исследования физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов включал в себя несколько этапов:

- сбор и обработка фондовых данных;
- оценка достоверности полученных данных, исключение систематических ошибок;
- расчёт средних значений физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов;
- составление общей таблицы физических и механических характеристик элювиальных глинистых грунтов;
- анализ полученных данных.

В процессе анализа физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов использовались данные, полученные в разные периоды изучения инженерно-геологических условий территории города Челябинска.

Средние значения показателей физико-механических характеристик элювиальных глинистых грунтов получены путем вычислений, согласно требованиям ГОСТ 20522 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний».

Сжимаемость элювиальных глинистых грунтов изучалась в компрессионных приборах КПр – 1 конструкции «Гидропроекта». Определения сопротивления элювиальных глинистых образований срезу производилось по методу консолидированного среза в условиях естественной влажности и при полном водонасыщении на одноплоскостных приборах «ПСГ – 2 М» (г. Углич), а также с помощью измерительно – вычислительного комплекса АСИС – автоматизированной системы для определения прочностных и деформационных свойств производства ООО «НПП «ГЕОТЕК» (г. Пенза).

Обработка результатов экспериментальных исследований, оценка изменения прочностных и

деформационных характеристик, а также построение уравнений регрессии и выявление корреляционных зависимостей выполнены с помощью компьютерных программ «Microsoft Excel» и «Statistica 10».

Научная новизна работы определяется следующими основными результатами:

- определен химический и минеральный состав глинистого элювия по интрузивным породам города Челябинска;
- определено макро- и микростроение глинистого элювия по интрузивным породам города Челябинска;
- установлена пространственно-временная изменчивость физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов;
- выявлены корреляционные зависимости прочностных и деформационных характеристик элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов от их физических показателей, а также зависимости физических свойств элювиальных глинистых грунтов от их химико-минерального состава;
- составлена территориальная таблица нормативных показателей прочностных и деформационных свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов;
- составлена территориальная таблица нормативных показателей относительной деформации просадочности элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов;
- разработаны рекомендации по прогнозной оценке деформационных и прочностных характеристик, величины относительной деформации просадочности элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов города Челябинска;
- намечены шаги по дальнейшему изучению выявленных закономерностей изменчивости состава, строения и физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов.

Основные защищаемые положения:

1. Выявленные особенности состава и строения элювиальных глинистых грунтов. Глинистый элювий гранитоидов территории города Челябинска обладает чётко выраженной зональностью строения. В вертикальном профиле массива глинистого элювия выделяется две зоны, формирование которых обусловлены климатическими (зональными) и региональными факторами.
2. Закономерности изменения физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов во времени зависят от четырёх основных природно-техногенных факторов: климатического, гидрогеологического, геологического и техногенного.
3. Закономерности изменения физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов в пространстве связаны с палеогеографическими, палеоклиматическими и палеогеоморфологическими условиями Урала.
4. Выявленные взаимосвязи между физическими и механическими свойствами элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов, а также оценка влияния химико-минерального состава элювиальных глинистых грунтов на их физические свойства.

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- применением стандартных методик инженерно-геологических изысканий и исследований грунтов на приборах, проходящих ежегодные метрологические поверки;
- использованием классических методов статистической обработки экспериментальных данных, представительным объёмом выборки (4662 пробы) и критерием тесноты связи полученных корреляционных зависимостей.

Теоретическая значимость работы состоит в анализе и обобщении данных по строению, химико-минеральному составу и физико-механическим характеристикам элювиальных глинистых грунтов, а также установление взаимосвязи между ними и разработке на этой основе аналитического метода прогноза свойств глинистого элювия, с учётом их пространственно-временной изменчивости.

Реализация и практическая ценность работы. Элювиальные глинистые грунты обладают специфическими свойствами и изучение этих свойств позволит минимизировать материальные затраты при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

Выявление закономерностей пространственно-временной изменчивости физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов приведёт к сокращению объёмов полевых и лабораторных работ, что вызовет снижение стоимости самих инженерных изысканий. Познание изменчивости физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов отразит особенности присущие грунтам основания, выявит новые методики изучения инженерно-геологических условий застраиваемых площадей.

Основные результаты работы используются организациями ИФ «ЮжУралТИСИЗ» и «РИТОС» при назначении объёмов инженерных изысканий.

Апробация результатов. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на одиннадцатой научно-практической конференции молодых специалистов «Пространственная изменчивость свойств элювиальных глинистых грунтов» (Москва, 2015 г.); на 9-й международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК – 2015». «Изменение физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов под влиянием техногенных факторов» (Москва, 2015 г.); на XII международной научно-практической конференции: «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия» «Просадочность элювиальных глинистых грунтов Южного Урала» (Новосибирск, 2015 г.); на двенадцатой научно-практической конференции молодых специалистов «Микронеоднородность элювиальных глинистых грунтов» (Москва, 2016 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 3 работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из пяти глав, объёмом 177 стр., 29 рисунков, 25 таблиц, 6 фотографий, 6 диаграмм, пяти приложений и списка литературы, включающего 153 наименования.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность и признательность своему научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, главному специалисту отдела инженерно-геологических процессов АО «ПНИИИС» Н.Л. Шешене за постоянное внимание к научной деятельности диссертанта, за содержательные консультации и советы при выполнении диссертационной работы, а также за ценные замечания при прочтении глав диссертации.

Автор признателен: главному геологу ООО ИФ «ЮжУралГИСИЗ» И.А. Маначину за помощь в выборе направления исследования, за содействие в сборе материалов, а также за консультации и замечания при прочтении глав диссертации; главному геологу инженерно-геологической экспедиции Р.Ш. Тагировой за консультации; специалистам лабораторного отдела ООО ИФ «ЮжУралГИСИЗ» О.Г. Мичуриной, Г.Д. Ермаковой за консультации и помощь при обработке лабораторных данных; главному геологу ООО «РИТОС» Г.А. Суворову за помощь и содействие в поиске геологической литературы по городу Челябинску и Челябинской области.

Свою признательность автор выражает специалистам Института минералогии, Уральского отделения РАН (г. Миасс): научному сотруднику М.Н. Маляренко за исследование химического состава; к. г. - м. н. П.В. Хворову за исследование минерального состава; младшему научному сотруднику И.А. Блинову за исследование микростроения элювиальных глинистых грунтов. Результаты данных исследований легли в основу диссертационной работы.

Диссертант благодарен коллективу научно-организационного отдела АО «ПНИИИС» во главе с заведующей к. г. - м. н. О.П. Павловой за полезные замечания и советы.

Также автор выражает признательность, за моральную поддержку, следующим людям: О.Н. Барановской, С.С. Переписанцеву, М.А. Колбасенко, О.Г. Мичуриной, Г.А. Суворову.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *введении* дано обоснование актуальности и практической ценности работы, сформулированы цель и задачи исследований, защищаемые положения, научная новизна и её апробация.

В *первой главе* отражено состояние вопроса и теоретические предпосылки изучения неоднородности строения, состава и физико-механических свойств грунтов, история изучения кор выветривания и физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов, как в России, так и за границей. Глава делится на три раздела.

Первый раздел первой главы раскрывает сущность вопроса исследования закономерностей распределения и пространственно-временной изменчивости свойств грунтов, историю развития теории их изменчивости, а также успехи, достигнутые в прогнозе изменений свойств грунтов.

Физико-механические свойства грунтов зависят не только от генезиса и условий образований грунтов, но и от других геологических факторов, и прежде всего от их минералогического состава, структуры и текстуры, возраста грунтов, а также от гидрогеологических условий и природной обстановки в которой находятся грунты.

Благодаря фундаментальным исследованиям И.В. Попова (1959), Г.А. Голодковской (1968), В.Т. Трофимова (1979), Е.М. Сергеева (1986) и мн. др. выяснено, что строение и состав грунтовых толщ, также как и распределение показателей состава и свойств грунтов, связаны с особенностями геологического строения территории.

С внедрением в геологию методов математической статистики, теории случайных функций и случайных полей, заслуги в развитии которых принадлежат советской математической школе

(А.Н.Колмогоров, А.Я. Хинчин, С.Н. Бернштейн, В.И. Романовский, Н.В. Смирнов, Б.В. Гнеденко, Е.Б. Дынкин, В.С. Пугачев и др.), характеристика изменчивости свойств и состава грунтов получила мощный толчок вперёд.

Для подсчёта обобщенных показателей количественных характеристик грунтов появился ряд новых теоретических разработок, в которых на математической основе обсуждались вопросы изменчивости (Н.В. Коломенский (1968), В.П. Огоноченко (1968), Г.К. Бондарик (1971)) и неоднородности свойств грунтов (М.В.Рац (1968), С.Н. Чернышев (1971)), обработки и анализа геологических данных (И.С. Комаров (1982)).

Весомый вклад в формирование и развитие теории изменчивости свойств грунтов внёс Г.К. Бондарик. По его мнению, формальное описание закономерностей распределения показателей состава и свойств грунтов в пространстве представляется возможным дать с помощью обоснованно выбранного математического аппарата. С помощью методов математической статистики Г.К. Бондарик раскрыл основные закономерности изменчивости свойств и состава грунтов.

В то время как Г.К. Бондарик уделял внимание пространственно-временному изменению свойств и состава грунтов, М.В. Рац углубился в суть вопроса и рассматривал причину изменчивости (в его терминологии неоднородность) геологических параметров, характерных для массива грунтов, как совокупность присущих геологическому телу неоднородностей различного уровня.

М.В. Рац выделил четыре классификации неоднородности грунтов:

- а) по абсолютному размеру элементов неоднородности (неоднородность порядков IV-0);
- б) по отношению размера элемента неоднородности к размеру определяющей области эксперимента (макро-, микро - и ультранеоднородность);
- в) по отношению размеров элементов макронеоднородности к величине шага опробования («хаотическая» и «пространственно коррелированная» неоднородность);
- г) по относительному размеру элементов макронеоднородности (низкочастотная и высокочастотная составляющие спектра неоднородности).

С течением времени происходили некоторые корректировки теории изменчивости, но базисные положения остались прежними. По крайней мере, автору не известно о существенном изменении основных положений теорий изменчивости.

В развитие теории изменчивости физико-механических свойств грунтов В.Ф. Ширяев разработал расчёт выбора параметров неоднородности при различных режимах изменчивости.

По мере развития теории изменчивости физико-механических свойств грунтов происходило становление теории прогноза их изменчивости.

Многие исследователи, среди которых Б.Г. Бондарик (1972), А.А. Каган (1984) и др., выделяют пространственные, временные и пространственно-временные аспекты прогноза.

Пространственный прогноз, как правило, выполняется на определённый момент времени. Временной прогноз нередко делается применительно к некоторому объёму пространства (прогноз положения уровня подземных вод, развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов, изменение свойств грунтов на различных этапах возведения и эксплуатации зданий и сооружений).

Одни учёные и исследователи вкладывают в понятие прогноза только природную составляющую, другие - и природную и техногенную.

Теоретические основы инженерно-геологического прогноза изменений геологической среды под воздействием деятельности человека в своих работах изложил Н.Л. Шешеня (1986). Большой вклад в теорию прогнозов антропогенных изменений геологической среды внёс Г.К. Бондарик, который разработал общее методологическое направление частного и локального прогнозов.

На основании разработанных методик и теории изменения геологических параметров в пределах городских территорий (во временном аспекте), стали массово изучаться изменения физико-механических свойства грунтов при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений различного назначения.

При изучении физико-механических свойств было подмечено, что механические свойства грунтов зависят от их физических характеристик.

Систематические исследования в направлении выявления зависимостей между физическими и механическими характеристиками грунтов были начаты в конце 1940-х годов НИИОСП им. Н.М. Герсевича. Большую роль в развитии исследуемой проблемы сыграли работы Н.Н. Маслова (1968), Н.В. Коломенского (1971), Г.К. Бондарика (1971), Э.И. Ткачука (1975), И.М. Горьковой (1975), И.С. Комарова (1982) и мн. др.

В.Г. Зотеев, Л.И. Костерова, Л.И. Подкорытова, Д.В. Макаров исследовали грунты различного генезиса для оценки возможности совместной обработки данных с целью установления универсальной взаимосвязи между физическими показателями связных грунтов и их прочностными и деформационными характеристиками.

Со временем, все выявленные зависимости между физическими и механическими свойствами грунтов вошли в специально изданные справочники.

Так, Я.В. Юрик составил таблицы для расчётов, в которые были заключены готовые показатели физических и механических свойств грунтов. По этим таблицам, зная плотность грунта и естественную влажность, можно определить остальные показатели физических и деформационных свойств грунтов.

М.М. Протодяконов, Р.И. Тедер и др. проанализировали данные о физических свойствах грунтов разного генезиса, распределение этих показателей и их корреляцию. Они подсчитали средние значения показателей физико-механических свойств грунтов и свели полученные данные в таблицы. Это дало возможность получить представление о диапазоне изменения свойств грунтов различного генезиса и о корреляционных связях физических показателей между собой.

Обобщив все имеющиеся данные о взаимосвязи механических и физических показателей грунтов, специалисты «ПНИИИС», а именно Б.Г. Слепцов, О.И. Игнатова, М.Т. Ойзерман и Н.М. Хайме, под общим руководством доктора геолого-минералогических наук М.В. Раца, разработали руководство по составлению региональных таблиц нормативных и расчётных показателей свойств грунтов (1981).

Региональные таблицы нормативных показателей прочностных и деформационных свойств грунтов сейчас стараются разработать в каждом регионе и не только в России, но и в бывших республиках Советского Союза.

Второй раздел первой главы отражает историю изучения элювиальных грунтов и их физико-механических свойств в Уральском регионе.

Впервые коры выветривания в регионе исследовались И.М. Крашенинниковым в 1915 г. Основы инженерно-геологического изучения кор выветривания заложены академиком Ф.П. Саваренским (1937). Также большой вклад в развитие теории процессов выветривания и разработку методов их инженерно-геологической оценки на Урале и в других регионах внесли: Н.В. Коломенский (1952), Е.М. Сергеев (1952), В.А. Приклонский (1955), В.Д. Ломтадзе (1955), Э.А. Джавахишвили (1967), Г.М. Арешидзе (1963), Л.И. Корженко (1963), Г.С. Золотарев (1971), Л.А. Ярг (1974), В.Б. Швец (1993) и мн. др.

Систематические исследования инженерно-геологических свойств элювия в Уральском регионе начали с 1933 г. в лаборатории оснований, фундаментов и инженерной геологии Восточного комплексного института, а затем на кафедре оснований и фундаментов Уральского политехнического института (И.С. Новоженев (1939), И.Н. Чистяков (1947), Н.А. Цирюлик (1961)).

После накопления полученных данных УралПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТОм в 1962-64 гг. были разработаны указания по изучению физико-механических свойств элювия и проектированию на них оснований зданий и сооружений, таблица нормативных и расчётных характеристик прочностных и деформационных свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов на основе статистической обработки фондовых данных. В 1970 г. подготовлены новые «Указания по инженерно-геологическим изысканиям оснований на элювиальных грунтах», отраженные в СНиП II-15-74. «Основания зданий и сооружений». С.Г. Дубейковским и др. продолжены работы по комплексному изучению и подготовлены дополнения к СНиП 1.02.03. «Инструкция по проектированию объектов для строительства за границей».

Неоценимый вклад в изучение инженерно-геологических свойств элювиальных грунтов Уральского региона также внесли: В.М. Чижевский (1972), Л.И. Афанасиади (1973), В.В. Лушников (1976), Ю.В. Сырокомский (1979), К.Г. Пшеничников (1979), С.Г. Дубейковский (1976), Л.И. Подкорытова (1976), Т.К. Костерова (1976), И.В. Абатурова (2000) и др.

В пределах города Челябинска работы по оценке изменения физико-механических свойств элювиальных грунтов велись В.П. Маричевым. В.П. Маричев занимался изучением взаимосвязи механических свойств элювиальных грунтов с их физическими параметрами. Им были составлены таблицы нормативных значений прочностных и деформационных свойств элювиальных глинистых грунтов города Челябинска. Эталоном для их разработки послужила таблица нормативных и расчётных характеристик элювиальных грунтов Среднего Урала. Также В.П. Маричевым были изучены корреляционные связи между показателями пластичности элювиальных глинистых грунтов. Была установлена довольно тесная корреляционная зависимость коэффициента пористости, плотности сухого грунта и плотности грунта от величины естественной влажности при определенных значениях коэффициента водонасыщения. К сожалению, в силу ряда причин ему не удалось закончить свою работу.

В 1994 г. специалистами ОАО «ЮжУралТИСИЗ» С.А. Раковым, В.В. Середой, Г.А.Суворовым были выполнены работы по изучению инженерно-геологических условий Челябинской агломерации. В результате работ были уточнены ранее выявленные закономерности изменения физико-механических свойств элювиальных грунтов города Челябинска и его окрестностей.

Третий раздел первой главы раскрывает историю и особенности изучения элювиальных грунтов и их физико-механических свойств за границей.

Исследованиями скальных и элювиальных дисперсных грунтов за границей начали заниматься с 1950-х годов. В тот период активно публиковались статьи о характеристиках элювиальных грунтов и их инженерных свойствах, а также предпринимались попытки разработки классификационных схем скальных грунтов, подвергшихся процессам выветривания. Существенный вклад в классификацию внесли отчёты крупных зарубежных и международных учреждений и организаций, таких как Лондонское геологическое общество (Geological Society of London), Международное общество по механике горных пород (International Society of Rock Mechanics), Британский институт стандартов (British Standard Institution), Международная ассоциация по инженерной геологии (International Association for Engineering Geology).

Профили коры выветривания зарубежом исследовали учёные с мировыми именами: А.Л. Литтл (A.L. Little, 1969), П.Г. Фукек и др. (P.G. Fookes et al., 1977), В.Р. Диэрман и др. (W.R. Dearman и др., 1978), Анон (Anon, 1981).

В заграничных публикациях изменениям физико-механических свойств скальных и дисперсных элювиальных грунтов при выветривании наиболее широко внимание стало уделяться со второй половины XX века. В результате исследований ученые Малайзии, Бразилии, Индонезии, Сингапура, Гонконга, Ирана и других стран обратили внимание, что на инженерно-геологические особенности элювиальных грунтов влияют их минеральный, петрографический состав, структура, текстура, количество и типы трещин, степень выветривания, процентное содержание глины и пр. Позднее Л.Д. Уисли, Т.Й. Ирфан (L.D. Wesley, 1988; L.D. Wesley, T.Y. Irfan, 1994), Лондонское геологическое общество (Geological Society of London, 1990) разделили скальные и дисперсные элювиальные грунты по их физико-механическим свойствам на группы на основе минерального состава, их микро- и макроструктурных свойств.

Материал, изложенный в *первой главе* указывает на то, что необходимо изучать закономерности распределения физико-механических свойств грунтов с последующим их прогнозом в пространстве и во времени, при внешних и внутренних нагрузках, результатом которого будут таблицы нормативных показателей прочностных и деформационных свойств грунтов.

Во *второй главе* приведена характеристика инженерно-геологических условий северо-западной части города Челябинска.

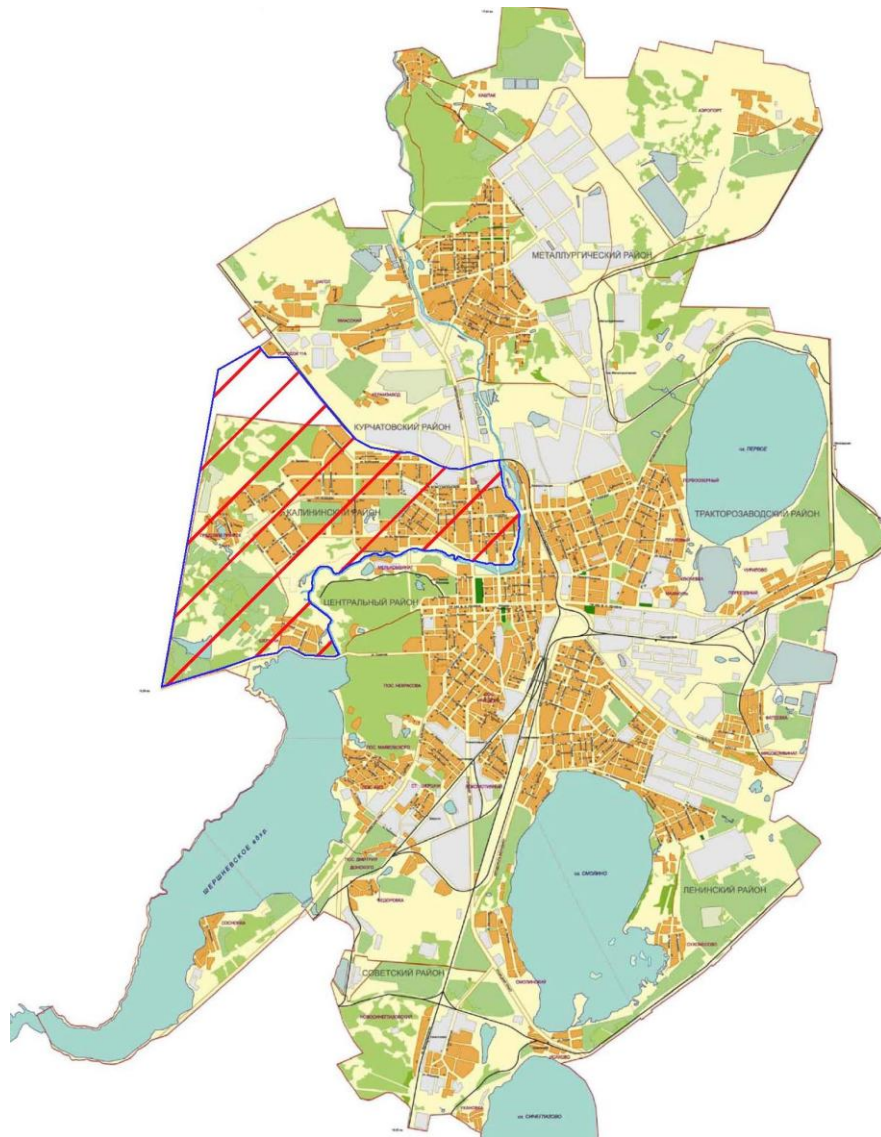
Челябинск - это крупнейший административный, промышленный и культурный центр Южного Урала. Город разделён на семь административных районов: Центральный, Советский, Ленинский, Тракторозаводской, Калининский, Курчатовский и Metallургический.

Исследуемая территория охватывает северо-западную часть города, расположенную на левобережье реки Миасс. В административном отношении она относится к трём районам города: Курчатовскому, Калининскому и Центральному (рисунок 1).

С севера, изучаемая территория ограничена ж/д веткой «Челябинск Главный – Верхний Уфалей (дизельный поезд)», с востока - рекой Миасс, с юга - плотиной Шершнёвского водохранилища и рекой Миасс, с запада - административной границей города (2016 г.).

Для оценки изменения состава и свойств грунтов необходимо изучение условий их формирования, т.е., истории геологического развития территории. История геологического развития территории, является результатом деятельности глобальных геологических процессов, происходящих в прошлом, и охватывающих значительные по площади участки земной коры. Исследуемый участок является неотъемлемой частью Уральского складчатого пояса, в частности, южной его оконечности – Южного Урала.

Изучением палеогеографических, палеоклиматических и палеогеоморфологических условий Урала занимались отечественные учёные: В.А. Лидер (1965), А.П. Сигов (1968), В.В. Стефановский (1976), И.З. Шуб (1980), Н.С. Кузнецов (1999), В.Б. Борисов (2001) и мн. др. На основании изучения многочисленных научных трудов в истории развития территории Урала выделяются три этапа: палеоплатформенный (дорифейский), рифтогенный (рифейско-пермский) и неоплатформенный (постпермский). Решающее влияние на формирование современных инженерно-геологических условий оказал постгерцинский этап развития территории, охватывающий временной промежуток от карбона до голоцена включительно.




 Район диссертационного исследования

Рисунок 1 – Карта - схема города Челябинска

Тектонические движения именно этого периода определили геотектоническое строение региона и литолого-петрографический состав горных пород. Они же заложили основы рельефа, который затем подвергался разрушению под действием водно-эрозионных процессов.

В геологическом отношении в пределах исследуемой площади (сверху вниз) развиты породы кайнозойского, мезозойского, палеозойского и докембрийского (протерозойского) возрастов.

Кайнозойская эратема представлена четвертичной, неогеновой и палеогеновой системами.

Мезозойская эратема представлена продуктами выветривания пород фундамента, формирующимися на протяжении юрского и мелового периодов.

Палеозойская эратема представлена интрузивными и субвулканическими, ультраметаморфическими образованиями пермской, каменноугольной и кембрийской систем.

Протерозойская эонотема представлена метаморфическими образованиями нижнего протерозоя.

По схеме тектонического районирования Урала на территории города Челябинска проявлены следующие структуры первого порядка: Восточно-Уральское поднятие, Восточно-Уральский прогиб, каждая из которых состоит из большого количества разрывных и складчатых структур низших порядков. Новейшее (неотектоническое) преобразование региона связано с плиоцен - четвертичными поднятиями, максимальная амплитуда которых, по представлениям А. П. Сигова не превышала 200-300 метров. По мнению большинства исследователей, новейший орогенез не привёл к заметной интенсивной структурной перестройке региона.

В геоморфологическом отношении площадь города Челябинска, расположена в пределах двух крупных геоморфологических структур:

- Урал, зона пенеплена – отпрепарированный Зауральский пенеплен (южная стабильная часть);
- Западно-Сибирская низменность – континентально-морская цокольная и аккумулятивная равнина.

Граница между пенепленом и континентально-морской равниной проходит вдоль зоны главного Челябинского разлома (западной её части). В современном рельефе она выражена пологим уступом, наклонённым на восток, с абсолютными отметками бровки 270-240 м. На всём протяжении, описываемая граница проходит вдоль максимального площадного распространения континентальных и морских мел-палеогеновых образований. Изучаемая территория в геоморфологическом отношении относится к зоне пенеплена.

Район исследования приурочен к центральной положительной морфоструктуре, частично, находится в пределах Миасской отрицательной морфоструктуры. Миасская отрицательная морфоструктура располагается в краевых частях положительной морфоструктуры и образует обширную мегаизлучину. Она приурочена к ослабленным тектоническим и контактовым зонам Челябинского плутона. С этой морфоструктурой связана относительно асимметричная долина р. Миасс, ограниченная денудационными уступами в виде пологих склонов.

На исследованной площади отмечаются многочисленные отрицательные микроформы рельефа. Они представлены логами, приуроченными к зонам разломов Челябинского парагенезиса и литологическим контактам. Положительные микроформы рельефа наблюдаются на устойчивых к выветриванию породах и в пределах разноимённых неотектонических подвижек.

Техногенные формы рельефа в районе исследования представлены многочисленными карьерами, отвалами, земляными дамбами и плотинами. А также прудами, водохранилищем, насыпями и выемками железных и шоссейных дорог.

В гидрогеологическом отношении в пределах изученной площади в стратиграфической последовательности (сверху вниз) выделены следующие гидрогеологические таксоны:

- *водоносный техногенный горизонт спорадического распространения;*
- *водоносный верхнечетвертичный современный аллювиальный горизонт;*
- *относительно водоносный верхнечетвертичный - современный озёрный, озёрно-аллювиальный, озёрно-болотный горизонт и относительно водоносный ниже-среднечетвертичный озёрный, озёрно-аллювиальный горизонт;*
- *относительно водоупорный верхнемиоценовый-среднеплиоценовый горизонт;*
- *водоносный рупельско-среднемиоценовый горизонт;*
- *подземные воды спорадического распространения элювиальных образований;*
- *водоносная палеозойская зона гранитоидов;*
- *водоносная протерозойская зона метаморфических пород.*

Из опасных геологических и инженерно-геологических процессов на территории города развиты: подтопление, затопление, просадочность, подработка территории.

Подтопление один из самых широко развитых и опасных процессов на территории города Челябинска. Возникновение рассматриваемого процесса на территории города обусловлено её геолого-структурными особенностями, строительным и промышленным освоением городских площадей и, как следствие, изменением геологической среды. В настоящее время процесс подтопления активно развивается в зоне селитебной застройки, особенно в северо-западной части города.

Затопление. В результате строительства Шершнёвского водохранилища (эксплуатация водохранилища ведётся более 40 лет), произошло затопление значительных территории в верхнем бьефе. Тогда как в нижнем бьефе (городская территория) произошло незначительное обмеление реки Миасс. При весенних и паводковых попусках из водохранилища, в городской черте, затоплению подвергаются ограниченные по площади участки низкой поймы р. Миасс. Сток реки зарегулирован и, поэтому, расширение площади затопления возможно лишь при катастрофических сбросах и прорыве плотины.

Просадочность. Элювиальные глинистые грунты, на некоторых участках территории города обладают крайне низкой степенью влажности, коэффициентом пористости близким к единице. По этой причине, при испытании элювиальных глинистых грунтов в лабораторных условиях, по методам «одной» или «двух кривых», элювиальные глинистые образования локально проявляют просадочные свойства. В 1989 году Челябинским политехническим институтом (сейчас носит название ЮУрГУ) были разработаны рекомендации по оценке просадочности элювиальных глинистых грунтов Челябинской области. В рекомендациях для оценки просадочных свойств этих грунтов используются результаты

испытаний на консолидированный срез грунта при естественной влажности и в водонасыщенном состоянии.

Подработка территории. В западной части исследуемой территории города, с середины XIX до 50-х годов XX века, велись горные работы по добыче и поискам золота. Методика проведения изысканий, с целью обнаружения и дальнейшего анализа этого геотехногенного явления, влияющего на инженерно-геологические условия застраиваемых новых территорий, разработана специалистами треста «ЮжУралГИСИЗ» в конце 1980-х годов. Также ими была разработана классификация подработанной территории по степени опасности для строительного освоения.

В третьей главе отражены выявленные особенности распространения, химико-минерального состава и строения элювиальных глинистых грунтов магматических пород в северо-западной части города Челябинска.

Физико-механические свойства грунтов разных генезисов зависят от геологических, тектонических, геоморфологических, гидрогеологических условий. Длительное изменение перечисленных условий меняет химический и минеральный состав грунтов, а также их макро- и микростроение. Это приводит к появлению аномальных зон с повышенным или пониженным процентным содержанием химических элементов. Советскими и российскими учёными (Л.И. Корженко (1963), М.П. Лысенко (1972), Л.А. Ярг (1974), Н.Л. Шешеня (2007); В.И. Осипов (2013) и мн. др.) экспериментальным путем доказано, что физико-механические свойства грунтов зависят от химического и минерального состава грунтов, а также особенностей их строения.

Поэтому перед изучением изменчивости физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов необходимо охарактеризовать их состав и неоднородность строения.

Посредством исследования макростроения массив элювиальных глинистых грунтов, по наличию или отсутствию реликтовых структурных связей, был разделён на две зоны. При исследовании химического и минерального составов глинистого элювия было выявлено, что помимо отличий в макростроении две зоны отличаются и химико-минеральным составом. Поэтому по совокупностям признаков и общепринятой в инженерной геологии специфике деления массива элювиальных глинистых грунтов на зоны было принято решение положить в основу названия зон принцип наличия реликтовых структурных связей. Таким образом, толща элювиальных глинистых грунтов делится на две зоны: бесструктурную и структурную. Зоны отличаются как качественными (окраска, наличие структурно-текстурных признаков) так и количественными (физико-механические свойства) показателями.

Зона бесструктурного элювия характеризуется отсутствием реликтовых структурно-текстурных связей, однородностью минерального и химического состава. Эта зона пользуется в пределах исследуемой территории локальным распространением. Её мощность составляет от 0,2 до 4,0 м. На большей части исследуемой территории бесструктурный элювий был «уничтожен» эрозионными процессами.

Зона структурного элювия характеризуется пёстрым минеральным и химическим составом. Здесь сохранились реликтовые структурно-текстурные особенности, присущие породам коренного субстрата. По прочности структурных связей здесь выделяются слабо- и прочноструктурные разновидности глинистого элювия. В пределах северо-западной части города Челябинска зона представлена преимущественно слабоструктурной разновидностью. Она пользуется наибольшим площадным распространением и составляет основную часть массива элювиальных глинистых грунтов. Её мощность колеблется от 1,0 до 25,0 и более метров.

Для оценки изменчивости химического и минерального состава грунтов бесструктурного и слабоструктурного элювия автором на 7 площадках (в пределах исследуемой территории) были отобраны 29 проб грунтов (2013-2015 гг.); из них 9 проб грунтов из массива бесструктурного элювия, 20 проб грунтов из массива слабоструктурного элювия. Пробы грунтов отбирались из элювиальных глинистых грунтов, сформированных на магматических скальных породах разных петрографических подвидов, с учётом метода ключевых участков, на разных гипсометрических уровнях, геоморфологических элементах. Интервал опробования варьировался от двух до шести метров. Максимальная глубина отбора проб грунтов составляла 20 метров. При отборе проб грунтов на химический и минеральный анализы использовался принцип квартования.

Об изменении химического состава грунтов с глубиной, в пределах зон элювиальных глинистых образований, можно судить по результатам силикатного анализа. Средние значения процентного содержания химических компонентов, которыми характеризуются зоны глинистого элювия, отражены в таблице 1.

Анализ полученных данных показал, что вверх по разрезу коры выветривания происходит уменьшение количества SiO_2 (в результате выноса освободившегося кремнезёма в виде коллоидов) и окислов щелочных металлов Na, K (связанное с процессами выщелачивания). В коре выветривания происходит накопление окислов железа (Fe_2O_3), за счёт замещения биотита, и окисление закисного железа. В результате содержание закисного железа вверх по разрезу уменьшается. Также, вверх по разрезу коры выветривания наблюдается уменьшение содержания окислов Ca, Mg, Na, Si, в результате высокой подвижности этих элементов в коре, и накопление Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , освобождающихся при разрушении силикатных пород и выносе кремнезёма. Окисно-закисный коэффициент по железу в коре выветривания колеблется от 7,9 до 21,4, что свидетельствует о интенсивности окислительных процессов, а следовательно, и о степени изменения пород при выветривании. Значительной величины (до 6-10%) достигают потери при прокаливании, характеризующие, в основном, содержание кристаллизационной влаги.

Минералогические исследования проводились рентген-дифрактометрическим методом. Осуществлялась рентгеновская съёмка трёх препаратов, одного и того же образца, подготовленных различными способами. Рентгенографировали порошковые препараты: в воздушно-сухом состоянии; после насыщения их глицерином и прокаливании при 550° в течение двух часов. Дифрактограммы для диагностики (воздушно-сухой, насыщенный глицерином, прокаленный препараты) получены на дифрактометре ДРОН-2.0. Дифрактограммы для расчётов получены на дифрактометре SHIMADZU XRD-6000.

Расчёт содержаний минеральных составляющих проведён методом Ритвельда, в программном продукте SIROQUANT V4.0. Он проведён без учёта содержания рентгеноаморфной составляющей с приведением результатов к 100%.

Об изменении минерального состава элювиальных глинистых грунтов с глубиной в пределах зон элювиальных глинистых образований можно судить по результатам рентгеноструктурного анализа. Средние значения процентного содержания минеральных компонентов, которыми характеризуются зоны глинистого элювия, отражены в таблице 2.

В целом, бесструктурный элювий характеризуется преобладающим содержанием каолинита с незначительным присутствием глинистых минералов группы гидрослюд. Среди первичных (неглинистых) минералов преобладает кварц. В малом количестве присутствует аллотигенный минерал (слюда).

Слабоструктурный элювий, в силу незавершённости процесса выветривания, характеризуется широким диапазоном процентного содержания минералов (таблица 2). Из вторичных (глинистых) минералов преимущественно преобладает каолинит. В пробах элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов, помимо каолинита, присутствует примесь глинистых минералов группы гидрослюд, участками их процентное содержание доходит до 20%. Также, в виде примеси в элювиальных глинистых слабоструктурных грунтах присутствуют монтмориллонит и вермикулит (до 1-3 %). Редко содержание вермикулита достигает 9%. Присутствие минералов, групп смектита и вермикулита, придаёт грунтам набухающие свойства. Широко распространены первичные минералы (кварц, слюда, КППШ). Рентгеноструктурные исследования минерального состава показали, что преобладающим глинистым минералом в толще бесструктурного и слабоструктурного элювия является каолинит. Содержание каолинита увеличивается снизу вверх по разрезу от 10-35(слабоструктурный элювий) до 40-65% (бесструктурный элювий).

Разнообразие глинистых минералов связано со сложными химическими процессами, происходящими в массиве элювиальных глинистых грунтов. Это обстоятельство указывает на неравномерность процесса выветривания и возможную сложность в прогнозе минерального состава элювиальных глинистых грунтов, особенно в толще глинистого слабоструктурного элювия.

Информативным способом, позволяющим отразить микронеоднородность глинистых грунтов, является электронно-микроскопный анализ. Исследование глинистого материала проводилось методом растровой электронной микроскопии на растровом электронном микроскопе Tescan Vega 3sbu, Ууск, 20кВ. Исходным материалом служил воздушно-сухой глинистый и песчано-глинистый материал керн.

Для изготовления препаратов, ножовкой с мелким зубом, перпендикулярно оси керн, выпиливался брусок размером около 1-2 см, после чего он разламывался. Полученный скол монтировался на алюминиевую шайбу, после чего его обклеивали токопроводящим клеем и напыляли металлом¹.

¹Работы по подготовке препаратов и микрофотографированию произведены сотрудником РАН УрО И.А. Блиновым. Анализ снимков и описания к снимкам сделаны автором.

Таблица 1 - Химический состав элювиальных глинистых образований

Грунты	Зона профиля коры выветривания		Химический состав (вес. %)												
	геохимическая	структурные особенности	минеральная	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	плл.
Глины по гранодиоритам	гидролиза	структурные особенности	минеральная	59,76	0,87	21,90	7,02	0,10	0,02	0,65	0,30	0,40	0,86	0,30	8,70
Глины и сулинки по кварцевым диоритам				бесструктурная	каолинитовая	60,38	0,70	20,76	4,28	0,20	0,02	0,98	1,83	0,90	1,79
Глины и сулинки по гранитам	гидролиза	слабоструктурная	каолинитовая, с примесью гидрослюд; редко гидрослюдисто-каолинитовая	61,02	0,81	17,84	5,50	0,56	0,06	3,32	0,53	0,74	2,59	0,72	7,10
Глины и сулинки по гранодиоритам				62,95	0,71	17,39	4,73	0,60	0,05	2,15	0,48	1,23	2,80	0,45	6,05
Глины и сулинки по кварцевым диоритам				62,99	0,69	18,20	4,19	0,36	0,08	1,77	0,71	1,54	2,47	0,35	6,85

Примечание – «пл.п.» – потери при прокаливании

Таблица 2 - Минеральный состав элювиальных глинистых образований

Грунты	Зона профиля коры выветривания		Минералы										
	геохимическая	структурные особенности	минеральная	первичные (неглинистые)					вторичные (глинистые)				
				Кварц	Плагиоклаз	КПШ	Слюда (блоггит, мусковит)	Каолинит	Смектит (Монтмориллонит)	Гидрослюда (диллит)	Вермикулит		
Глины по гранодиоритам	гидролиза	бесструктурная	каолинитовая, с примесью гидрослюд; редко гидрослюдисто-каолинитовая	27	-	-	7	63	-	-	3	-	-
Глины и сулинки по кварцевым диоритам				40	-	7	6	44	-	-	2	-	-
Глины и сулинки по гранитам				44	5	-	10	35	-	-	2	-	3
Глины и сулинки по гранодиоритам	гидролиза	слабоструктурная	каолинитовая, с примесью гидрослюд; редко гидрослюдисто-каолинитовая	31	16	2	17	27	1	6	-	-	
Глины и сулинки по кварцевым диоритам				37	2	14	16	26	-	4	1		

Примечание – «КПШ» – каолевые полевые шпаты

Микростроение элювиальных глинистых бесструктурных грунтов. Основная масса грунтов в исследуемом образце глинистого бесструктурного элювия представлена главным образом каолином (рисунок 2а, б).

Микроструктура – доменная. Микротекстура элювиальных глинистых бесструктурных грунтов - беспорядочная, с хаотичной пространственной ориентировкой глинистых частиц. Тип пор – межультрамикроагрегатный, по размеру поры относятся к ультрамикропорам. Форма пор – изометричная, реже анизометричная; поры открытого типа. Размер глинистых частиц варьируется от 0,004 до 0,01 мкм.

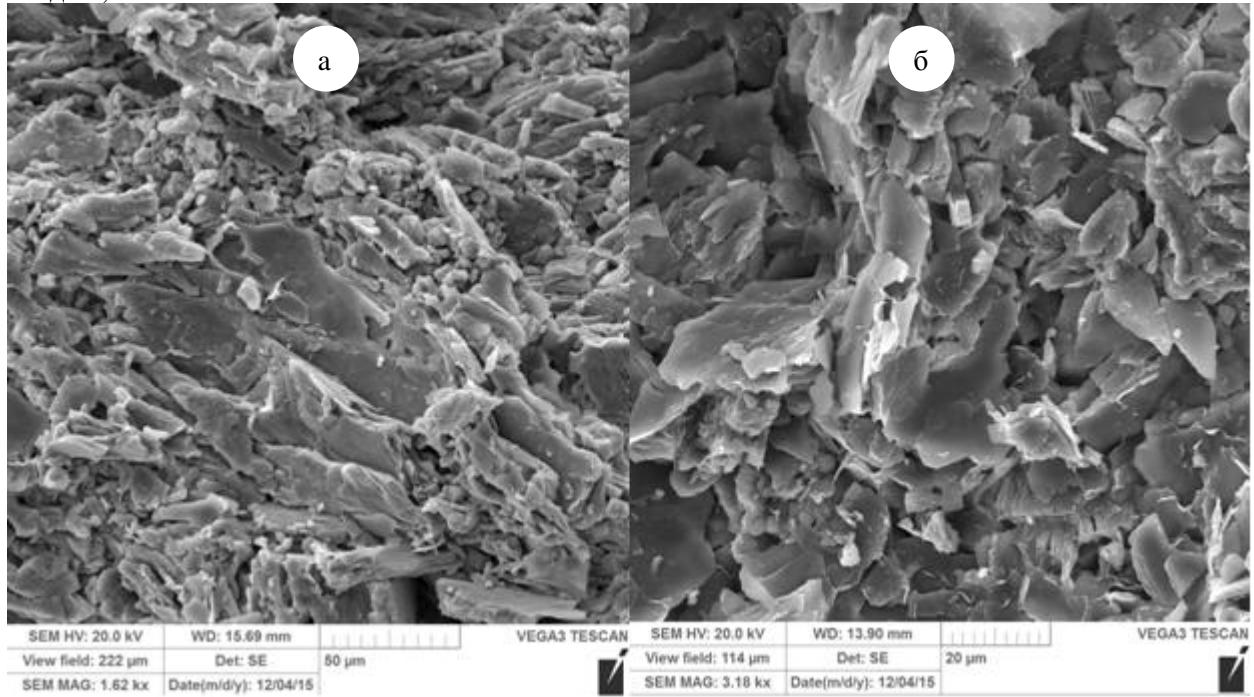


Рисунок 2 - Микроснимки поперечного скола kernового материала элювиальных глинистых бесструктурных грунтов, глубина отбора образца 2,5 м.

Зёрна полевых шпатов покрыты глинистой каолининовой плёнкой (рисунок 3а). При увеличении, разрешения микроснимка, заметны частицы каолинита на поверхности зёрен КППШ (калиевые полевые шпаты), покрывающие их тонким слоем.

Микростроение элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов. Первичные (неглинистые) зёрна в элювиальных глинистых слабоструктурных грунтах, представлены:

- корродированным кварцем;
- пелитизированными зёрнами полевых шпатов;
- в разной степени гидратированной и каолинитизированной слюдой, вплоть до образования собственно каолина и галлуазита.

На микроснимках отчётливо видны частицы каолинита с характерной стопчатой микроструктурой, присущей кристаллам полевых шпатов, подвергшихся процессам выветривания. Зёрна слюды при детальном рассмотрении распадаются на чешуйки, которые участками замещаются иллитом (рисунок 3б). На микроснимках заметна повышенная дисперсность и пористость грунтов зоны гидролиза.

Микроструктура глинистого слабоструктурного элювия – доменная. Микротекстура - беспорядочная, с хаотичной пространственной ориентировкой глинистых частиц и агрегатов, с включениями угловатых зёрен кварца, нередко сгруппированных в «гнезда». Тип пор – межультрамикроагрегатный и межчастичный. Поры открытого типа. По размеру поры относятся к ультрамикропорам. Форма пор – изометричная и щелевидная. Размер глинистых частиц варьируется от 0,006 до 0,02 мкм.

Таким образом, наиболее микронеоднородными являются элювиальные глинистые слабоструктурные грунты. Эта неоднородность обусловлена текстурно-структурными особенностями, незавершённостью процессов выветривания. Выявленная закономерность подтверждается результатами минерального и химического анализа.

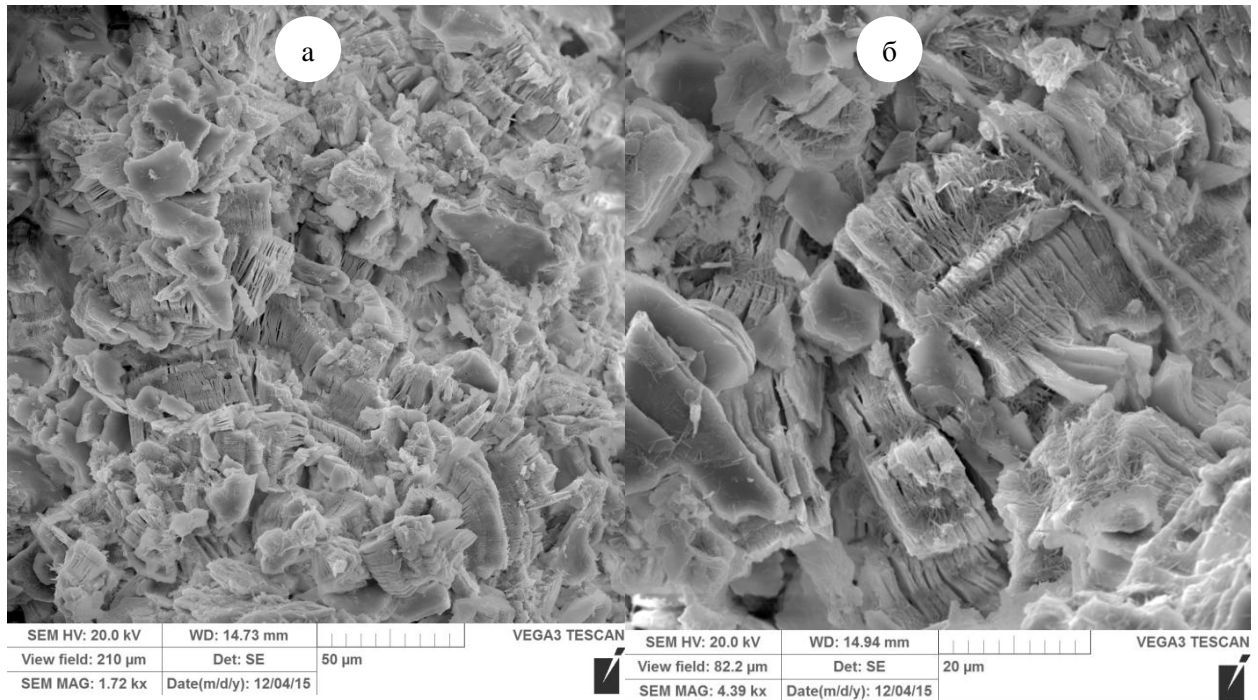


Рисунок 3 - Микроснимки поперечного скола kernового материала элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов, глубина отбора образца 15,0 м.

Макронеоднородность определяется посредством изучения макростроения грунтов.

Макростроение грунтов анализировалось, фотографировалось и описывалось автором на многочисленных обнажениях. Всего, в период с 2012 по 2016 гг., было описано около 50 обнажений элювиальных глинистых образований. Тектурно-структурные особенности элювиальных глинистых образований также описывались в процессе бурения вертикальных горных выработок. Всего описано макростроение элювиальных глинистых образований в 132 скважинах.

В массиве элювиальных глинистых грунтов встречены: «останцы» скальных и полускальных пород; жилы и прожилки (кварц, аплит). Жильные образования образовались в результате постмагматических процессов (сдвигание блоков кристаллизовавшихся пород по трещинам; метаморфизация интрузивных пород, проработанных высокотемпературными гидротермами) на поздних этапах формирования Челябинского плутона. Гидротермальный метаморфизм привёл: к образованию многочисленных прожилков и жил; окварцеванию; грейзенизации гранитоидных пород; к изменению их структуры и текстуры. Жилы и прожилки кварца и аплита, раздробленны, разбиты многочисленными макротрещинами.

Макростроение элювиальных глинистых бесструктурных грунтов. Макростроение глинистых грунтов бесструктурного элювия характеризуется отсутствием реликтовой структуры коренных пород, относительной однородностью химического и минерального состава. Зёрна первичных (неглинистых) минералов располагаются хаотично по всей зоне бесструктурного элювия.

Макронеоднородность бесструктурного элювия проявляется в наличии большого количества жил и прожилков кварца и аплита, которые крайне неравномерно распределены в массиве элювиальных глинистых бесструктурных грунтов.

При обследовании многочисленных обнажений массива бесструктурного элювия, в бортах котлованов, не выявлено каких-либо различий в продуктах выветривания, образовавшихся на разном коренном субстрате.

Макростроение элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов. Глинистый слабоструктурный элювий унаследовал не только тектурно-структурные особенности коренного субстрата, но и всю сложность строения, присущую коренным гранитоидным породам. Он характеризуется неоднородностью строения, которая увеличивается с глубиной. В обнажениях и пробах элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов отчетливо видна пестрота макростроения. Многочисленны «останцы» полускальных и скальных (окварцованных) грунтов, жилы кварца и аплита, усложняющие и без того сложную картину строения элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов. Массив слабоструктурного элювия пронизывают разнонаправленные прожилки (ширина 1-2 мм) гидроокислов железа. Перечисленные особенности усложняют процесс исследования элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов в лабораторных условиях, поскольку предугадать расположение

единичных обломков фактически невозможно. Описанные обстоятельства вызывают большой разброс значений физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов относительно средних значений.

Анализ состава и неоднородности строения элювиальных глинистых грунтов позволяет сделать следующие выводы:

- неоднородность строения элювиальных глинистых грунтов, а значит и физико-механических свойств, связана с особенностями формирования интрузивных пород в магматическую и постмагматическую стадию;
- при анализе неоднородности строения необходимо учитывать палеогеографическую обстановку образования и существования элювиальных глинистых грунтов;
- снизу вверх по разрезу происходит уменьшение степени неоднородности. Элювиальные грунты становятся более однородными по структурно-текстурным особенностям, химическому и минеральному составу;
- на разных уровнях неоднородности наблюдаются существенные отличия в составе и строении бесструктурного и слабоструктурного элювия;
- чем больше площадь описываемого участка грунтов, тем меньше неоднородность массива;
- неоднородность строения массива элювиальных глинистых грунтов затрудняет отбор монолитов, последующие исследования образцов элювиальных глинистых грунтов в лабораторных условиях;
- не зафиксировано каких-либо отличий в строении элювиальных глинистых грунтов, образовавшихся на интрузивных кислых породах различных подвидов (гранитов, гранодиоритов, кварцевых диоритов). По всей видимости, это связано со схожестью условий образования и одинаковостью минерального и химического состава пород коренного субстрата.

В четвёртой главе рассмотрена пространственно-временная изменчивость физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов. Глава состоит из двух разделов: в первом разделе рассматривается временная изменчивость физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов, во втором – их пространственная изменчивость.

Временная изменчивость физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов. Временная изменчивость физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов анализировать с двух сторон:

- изменение во времени физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов без учёта воздействия техногенных факторов;
- изменение во времени физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов с учётом воздействия техногенных факторов.

Математическому анализу подвергались средние значения показателей физико-механических характеристик элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов, полученные методом математической статистики, согласно требованиям ГОСТ 20522 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний». Результаты расчёта средних значений физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов для прослеживания их временной изменчивости за более чем 30-летнюю историю исследований внесены в сводную таблицу 3.

Исследование физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов произведено по единой нормируемой методике с использованием однотипного оборудования. Сжимаемость элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов изучалась в компрессионных приборах КПр – 1 конструкции «Гидропроекта», определения сопротивления грунтов срезу производилось на одноплоскостных приборах «ПСГ – 2 М» (г. Углич) по методу консолидированного среза в условиях естественной влажности и при полном водонасыщении.

Анализ изменчивости во времени физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов позволяет сделать следующие выводы:

- физико-механические свойства элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов на территориях, не подвергшихся сильному техногенному воздействию (застройка жилыми домами, прокладка магистральных трубопроводов) не изменяются с течением времени;
- по результатам лабораторных исследований свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов, на разные сезоны года, выявлено, незначительное колебание их влажностных характеристик;

• физические свойства элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов под воздействием техногенной нагрузки (колебание уровня подземных вод) вызванные застройкой территории, приводят к изменению их влажностных характеристик. Это сказывается на величине относительной деформации

Таблица 3 – Средние значения физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов на разные периоды изысканий

Дата проведения инженерно-геологических изысканий	Плотность, г/см ³			Коэффициент пористости e , д.е.	Влажность, %			Число пластичности I_p , %	Показ. текучести I_L (расчет. способом), д.е.	Коэффициент водонасыщения S_r , д.е.	Условия опыта	Удельное сцепление c_u кПа	Угол внутреннего трения ϕ , град.	Условия опыта	Компрес. модуль дефор. E_k , МПа	Относительная деформация просадочности ϵ_{sp} , д.е.
	частиц грунта ρ_s	грунта ρ	сухого грунта ρ_d		естественная ω	на границах										
						текучести ω_L	раскаты-вания ω_p									
Площадка № 1 (Микрорайон по ул. Чайковского)																
<i>Глины</i>																
Май 2007	2,68	1,73	1,39	0,94	24	59	38	21	<0	0,67	2	38	20	4	5,5	-
Июль 1983	2,65	1,60	1,32	1,02	21	54	32	22	<0	0,55	2	41	23	6	3,8	0,004
Сентябрь 1973	2,68	1,62	1,37	0,97	19	48	28	20	<0	0,52	2	35	21	6	3,2	0,004
<i>Суглинки</i>																
Май 2007	2,71	1,78	1,56	0,76	14	43	30	13	<0	0,52	2	16	18	4	3,0	0,003
Июль 1983	2,71	1,56	1,26	1,15	24	44	30	14	<0	0,56	2	35	21		-	0,003
Сентябрь 1973	2,70	1,70	1,42	0,92	20	42	27	15	<0	0,59	2	30	25		-	-
Площадка № 2 (Микрорайон № 9)																
<i>Глины</i>																
Февраль 1999	2,68	1,80	1,38	0,94	31	57	40	18	<0	0,87	2	23	22	6	2,7	0,001
Январь 1973	2,73	1,65	1,34	1,04	23	58	35	22	<0	0,58	2	32	21	6	4,3	-
<i>Суглинки</i>																
Май 2000	2,68	1,84	1,43	0,88	28	48	34	13	<0	0,87	2	28	25	6	2,8	0,001
Январь 1973	2,72	1,70	1,44	0,90	19	42	28	15	<0	0,59	2	28	22	6	5,2	-
Площадка № 3																
Февраль 2015	2,70	1,93	1,65	0,63	17	37	22	15	<0	0,72		-	-	4	3,3	0,001
Май 1986	2,74	1,75	1,53	0,80	14	39	26	13	<0	0,50		-	-	6	4,0	0,011
Площадка № 4																
Август 2010	2,69	1,71	1,56	0,73	10	28	19	9	<0	0,37		-	-	6	4,9	0,018
Сентябрь 1992	2,71	1,90	1,63	0,65	16	28	18	10	<0	0,65		-	-	6	4,4	0,000

Примечание – условия проведения опыта: цифра 2 – консолидировано-дренированных сдвиг при полном водонасыщении; 4 и 6 – компрессионные испытания грунтов при естественной влажности.

просадочности. Понижение уровня подземных вод, увеличение мощности зоны аэрации ведёт к увеличению величины относительной деформации просадочности и наоборот;

- повышение уровня подземных вод приводит к увеличению плотности грунта, и, соответственно уменьшению коэффициента пористости;
- прочностные и деформационные свойства элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов, при постоянстве положения уровня подземных вод, зависят от неравномерности процесса выветривания;
- подъём уровня подземных вод ведёт к ухудшению прочностных и деформационных свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов.

Пространственная изменчивость физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов. Для анализа пространственной изменчивости физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов, в пределах исследуемой северо-западной части города Челябинска, были построены геологические поля их физических и механических свойств. При построении полей физико-механических свойств автор пользовался рекомендациями по моделированию геологических полей.

Перед построением полей физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов были проанализированы изменения физико-механических свойств данных грунтов с глубиной.

По результатам анализа выявлено, что в массиве слабоструктурного элювия наблюдается незначительное изменение физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов с глубиной. Так сверху вниз по разрезу происходит незначительное, постепенное уменьшение

глинистой фракции, увеличение процентного содержания дресвы и щебня. Эта закономерность прослеживается при анализе частных значений физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов в единичных скважинах. С глубиной изменяются величины: числа пластичности, естественной влажности, процентного содержания частиц крупнее 2 мм, плотности частиц грунта, относительной деформации просадочности.

Незначительные изменения с глубиной сингенетических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов, по всей видимости, связаны: с особенностями выветривания коренных пород, наличием структурно-текстурных связей, присутствием «гнезд» дресвы и песка. Изменения эпигенетических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов связаны с гидрогеологическими условиями, притерпевающими изменения с течением времени.

Физические свойства элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов в скважинах, находящихся на одних и тех же гипсометрических отметках, с глубиной не изменяются. Если сравнивать физические свойства элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов, в скважинах, пройденных на разных геоморфологических элементах, то заметны незначительные изменения некоторых физико-механических свойств элювиальных глинистых образований.

Наблюдаемые в единичных скважинах слабые зависимости физических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов от глубины отбора проб, не фиксируются, при суммарной обработке лабораторных данных, полученных в нескольких близко расположенных скважинах. В связи с этим, нет необходимости в дальнейшей оценке закономерностей изменения физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов с глубиной (ξ_3).

Для оценки пространственных закономерностей изменчивости физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов, были построены двумерные геологические поля (ξ_1, ξ_2).

Поле числа пластичности. В результате построения поля числа пластичности, векторной схемы главных направлений изменчивости и дальнейшего анализа графического материала выявлено, что:

- закономерности изменения числа пластичности описываются полиномиальной аппроксимацией функций: математического ожидания и среднего квадратичного отклонения (полином 4 порядка);
- значение показателя числа пластичности уменьшается в направлении от водораздельных поверхностей к долине реки Миасс;
- величина среднего квадратичного отклонения принимает наименьшие значения на низких гипсометрических отметках (в пределах долины реки Миасс). Из-за неоднородности процесса выветривания коренных пород, наличия многочисленных включений частиц крупнообломочных фракций, в пределах водораздельной поверхности наблюдается, большой разброс средних значений числа пластичности, отражающийся в значительных колебаниях среднего квадратичного отклонения.

Процентное содержание крупнообломочной фракции (частиц грунта крупнее 2 мм) уменьшается, по мере продвижения вверх по склону, в то время как вдоль долины реки Миасс наблюдается повышенное процентное содержание щебня и дресвы.

Структура *поля показателя текучести* имеет аномалии - высокие значения показателя текучести. Сконцентрированы аномалии в северо-западной части исследуемой территории.

Поле естественной влажности. Интересная закономерность наблюдается в структуре поля естественной влажности. На карте поля естественной влажности отчётливо видно, что вдоль логов, конуса выноса которых, пространственно расположены в восточной части исследуемой территории, естественная влажность больше, чем вдоль логов, конуса выноса которых расположены в южной оконечности площадки исследования и в долине реки Миасс. Заниженное значение показателя естественной влажности вдоль древних логов, ориентированных в южном направлении, обусловлено мощной толщей четвертичных водоупорных глинистых отложений. Низкие значения естественной влажности элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов, вдоль долины реки Миасс связаны, по всей видимости, с наличием большого содержания крупнообломочной фракции, и соответственно большей фильтрационной способностью.

Поле коэффициента пористости. Структура поля коэффициента пористости имеет такие же закономерности, как и поле числа пластичности. На водораздельных поверхностях значение коэффициента пористости больше, чем вдоль логов и в долине реки Миасс.

Поле удельного сцепления при водонасыщении. Для построения геологического поля использовались значения удельного сцепления, полученные в лабораторных условиях, при водонасыщении образцов грунтов, так как, на величину сцепления влияет положение уровня подземных

вод. Величина удельного сцепления грунтов, при лабораторных испытаниях в условиях естественной влажности, обычно выше, чем при испытании образцов грунтов при их водонасыщении.

При анализе карты поля удельного сцепления, и сопоставлении его с полями физических свойств, наблюдается следующая особенность: значение удельного сцепления выше на участках скопления крупнообломочных фракций.

Поле полевого модуля деформации элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов. Для выделения закономерности пространственного изменения величины полевого модуля деформации, анализировались их средние значения. Частные значения модуля деформации были получены при испытаниях грунтов статическими нагрузками штампом площадью 600 см².

На картах изолиний модуля деформации в структуре поля наблюдаются аномалии - повышенные значения модуля деформации элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов. Аномалии обособлены, сконцентрированы в центральной и северо-западной части исследуемого участка. Они не приурочены к какому-либо геоморфологическому элементу. Природа появления данных аномалии неясна и требует дополнительных исследований.

После построения карт полей геологических параметров, была произведена оценка достоверности полученной модели и её соответствие экспериментальным данным. С этой целью, на разных участках исследуемой территории, дополнительно были проведены инженерно-геологические изыскания. Результатом изысканий стало уточнение инженерно-геологических условий локальных участков исследуемой территории, а также оценка физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов на площадках изысканий. Контрольные точки с оценками параметра в них, определяют величину расхождений между теоретическими (снятыми с смоделированного поля геологического параметра) оценками параметра, в местах расположения контрольных точек, и экспериментальными оценками параметра в этих точках.

В целом, можно сказать, что построенные поля геологических параметров пригодны для прогноза физических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов. Поскольку различия показателей, в пределах контрольных площадок и соответствующих им оценок, полученных путем моделирования геологических полей, в большинстве своём, несущественны. Геологические поля механических свойств, можно применять при предварительной оценке прочностных и деформационных свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов.

Есть и недостатки применения метода моделирования. Это отчётливо видно по структуре полей механических свойств. Недостаток данных, неравномерное распределение экспериментальных точек искажает структуру геологического поля, делает проблематичным прогноз показателей физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов.

В пятой главе представлены результаты выявленных взаимосвязей между физическими и механическими свойствами элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов, а также дана оценка влияния химико-минерального состава элювиальных глинистых грунтов на их физические свойства. Глава состоит из двух разделов: в первом рассматривается зависимость физических свойств элювиальных глинистых грунтов от их химико-минерального состава, во втором – зависимость механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов от их физических показателей; приведены таблицы нормативных значений их прочностных и деформационных свойств, а также величины относительной деформации просадочности.

Для оценки зависимости физических свойств элювиальных глинистых грунтов от их химического и минерального состава в разных микрорайонах города Челябинска (Калининский район) и его окрестностях (Сосновский район Челябинской области) были отобраны пробы элювиальных глинистых грунтов ненарушенной структуры. По взятым пробам были определены их химический и минеральный состав, а также физические свойства элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов (таблицы 4-6). Физические свойства элювиальных глинистых грунтов определены в лаборатории ООО ИФ «ЮжУралГИСИЗ».

Для исследования взаимосвязи физических свойств элювиальных глинистых грунтов с минеральным и химическим составом с помощью программы «Microsoft Excel» методами математической статистики автором вычислены парные коэффициенты корреляции, которые сведены в таблицу 7. Парные коэффициенты корреляции отражают тесноту связи физических показателей элювиальных глинистых грунтов с минеральным и химическим составами.

Коэффициенты корреляции показывают, что наиболее тесная связь существует между плотностью частиц грунта и процентным содержанием первичных минералов (кварц, плагиоклаз, КППШ), а также содержанием химических компонентов (SiO₂, TiO₂). Также на показатели физических свойств (влажности на границах текучести и раскатывания; число пластичности) элювиальных глинистых

грунтов оказывает влияние процентное содержание глинистых минералов. Увеличение процентного содержания первичных (неглинистых) минералов приводит к уменьшению плотности грунта. Повышенное содержание Fe_2O_3 ведёт к увеличению плотности частиц грунта.

Таблица 4 - Минеральный состав элювиальных глинистых образований

Расположение	Наименование грунта	Глубина, м.	Минеральный состав (вес. %)						
			Первичные минералы				Вторичные минералы		
			Кварц	Плагиоклаз	КЩЦ	Слюда (биотит, мусковит)	Каолинит	Смектит	Гидрослюда (иллит, вермикулит)
Микрорайон «Ласковый»	Глины лёгкие пылеватые	7,0	43	10	-	-	41	-	5
		13,0	45	1	-	19	35	-	-
		17,5	44	3	4	-	33	-	15
Микрорайон №29	Суглинки лёгкие пылеватые	2,0	34	-	12	5	44	-	5
		4,0	45	-	8	4	39	1	2
		6,0	37	-	1	7	33	-	20
		8,0	27	9	16	19	23	3	3
		12,0	36	26	15	2	13	-	9

Примечание - Расчёт содержаний минеральных составляющих проведён методом Ритвельда в программном продукте SIROQUANT V4.0; расчёт проведён без учёта содержания рентген аморфной составляющей.

Таблица 5 - Химический состав элювиальных глинистых образований

Расположение	Наименование грунта	Глубина, м.	Химический состав (вес. %)					
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O
Микрорайон «Ласковый»	Глины лёгкие пылеватые	7,0	50,70	1,30	20,90	7,70	0,70	1,70
		13,0	60,77	0,94	20,26	5,86	0,01	2,68
		17,5	55,56	1,08	17,15	7,01	0,64	2,18
Микрорайон №29	Суглинки лёгкие пылеватые	2,0	61,32	0,52	17,46	4,38	3,22	1,54
		6,0	60,78	0,94	18,86	5,29	0,76	2,24
		12,0	64,94	0,66	16,62	4,01	1,34	3,12

Таблица 6 - Физические свойства элювиальных глинистых образований

Расположение	Наименование грунтов	Глубина, м.	Физические свойства элювиальных глинистых грунтов				
			Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	Плотность грунта ρ , г/см ³	Влажность на границе текучести w_L , %	Влажность на границе раскатывания w_p , %	Число пластичности I_p , %
Микрорайон «Ласковый»	Глины лёгкие пылеватые	7,0	2,73	1,90	50	28	22
		13,0	2,73	1,97	49	27	22
		17,5	2,75	1,94	44	25	19
Микрорайон №29	Суглинки лёгкие пылеватые	2,0	2,65	1,71	41	27	14
		4,0	2,72	1,82	38	25	13
		6,0	2,68	1,82	43	26	17
		8,0	2,66	1,74	38	24	14
		12,0	2,66	1,76	38	25	13

Таблица 7 – Парные коэффициенты корреляции

Состав (вес.%)	Наименование компонента	Физические свойства элювиальных глинистых грунтов				
		Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	Плотность грунта ρ , г/см ³	Влажность, %		Число пластичности I_p , %
				на границе текучести w_L	на границе раскатыва ния w_p	
Химический	SiO ₂	0,91	0,37	0,30	0,45	0,30
	TiO ₂	0,99	0,73	0,32	0,00	0,52
	Al ₂ O ₃	0,72	0,57	0,86	0,60	0,64
	Fe ₂ O ₃	0,80	0,60	0,39	0,06	0,57
	CaO	0,79	0,83	0,23	0,08	0,84
	K ₂ O	0,54	0,05	0,00	0,12	0,00
Минеральный	Кварц	0,77	0,81	0,69	0,63	0,71
	Плагиоклаз	0,88	0,99	0,57	0,07	0,73
	КПШ	0,85	0,76	0,63	0,64	0,57
	Слюда	0,07	0,08	0,93	0,00	0,95
	Каолинит	0,76	0,38	0,80	0,76	0,83
	Гидрослюда	0,02	0,14	0,65	0,00	0,67

Примечание 1 «КПШ» – калиевый полевой шпат; 2 Цветом выделены значимые коэффициенты корреляции.

Необходимо дальнейшее изучения химико-минерального состава элювиальных глинистых грунтов для большего понимания природы проявления их физических и механических свойств, что в дальнейшем позволит сделать прогноз изменения физических свойств элювиальных глинистых грунтов по процентному содержанию компонентов и наоборот.

Оценка зависимости механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов от физических показателей произведена согласно методическим рекомендациям, разработанным сотрудниками «ПНИИС».

Предварительный анализ данных проводился с помощью графоаналитических методов путем построения точечных графиков показателей. Значения показателей, которые выбивались из общего тренда изменений, считались ошибочными и исключались из обработки. В пределах площадок изысканий были рассчитаны средние значения основных показателей физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов. Средние значения физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов по каждой площадке, в совокупности, образуют выборку. Объём выборки составил 201 определение физических и механических свойств.

Автор анализировал неоднородность распределения основных классификационных показателей элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов: естественной влажности (ω); коэффициента пористости (e); числа пластичности (I_p); показателя текучести (I_L).

С помощью методики, изложенной в рекомендациях по составлению таблиц нормативных и расчётных показателей свойств грунтов, исследовалась общая выборка этих показателей (4662 определение). Для исследования неоднородности распределения показателей физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов были построены гистограммы, позволяющие оценить нормальность эмпирического распределения. На гистограмму была наложена кривая нормального распределения.

Гистограмма числа пластичности показала, что распределение бимодально (имеет два пика). Это связано с тем, что выборка неоднородна. В дальнейшем выборка была разделена по числу пластичности на две группы: глины и суглинки.

Гистограмма показателя текучести показала, что распределение также бимодально. Выборка была разделена по показателю текучести на две группы. В первую группу отнесены грунты полутвёрдые и твёрдые по показателю текучести. Во вторую – тугопластичные грунты. Тугопластичные грунты пользуются локальным распространением, и поэтому в таблицах 9 и 10 не отражены.

На гистограммах с помощью вспомогательной функции $l(x_j)$ были выделены промежутки монотонного убывания функции. В последующем для этих промежутков были определены: математическое ожидание, дисперсия и вес однородных компонентов.

Отбор информативных показателей свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов осуществлен как на основе геологических соображений, так и методами корреляционного анализа. Для предварительного визуального анализа степени и характера взаимосвязей между показателями были построены точечные графики парных зависимостей прогнозируемого показателя от каждой из выбранных физических характеристик.

Графоаналитический метод показал, что наибольшую взаимосвязь значения удельного сцепления имеют с плотностью сухого грунта (ρ_d), естественной влажностью (ω), а также влажностью на границе раскатывания (W_p). Наибольшую взаимосвязь компрессионный модуль деформации имеет с показателями: плотности грунта (ρ), коэффициента пористости (e), плотности сухого грунта (ρ_d), а также коэффициента водонасыщения (S_r).

Исходя из этого, в качестве аргументов регрессионных уравнений были выбраны показатели коэффициента пористости (e), плотности грунта (ρ), плотности сухого грунта (ρ_d), естественной влажности (ω), а также влажности на границе раскатывания (W_p), коэффициента водонасыщения (S_r).

Чёткой зависимости между физическими показателями (число пластичности, коэффициент пористости) и механическими характеристиками не наблюдалось.

Поэтому автором было принято решение поступить следующим образом: на основании полученных интервалов убывания вся выборка средних значений была поделена на шесть групп, за основу деления взяты показатели коэффициента пористости. Внутри групп рассчитаны средние значения физико-механических показателей, затем вновь построены точечные графики. Автоматизированным способом выведены регрессионные уравнения (таблица 8)

Таблица 8 - Уравнения регрессии

Разновидности грунтов	Вид зависимости	Коэффициент корреляции	Регрессионные уравнения в стандартизованном виде
Глины	$c = f(e)$	0,95	$c=61,114-18,96e$
	$\varphi = f(e)$	0,91	$\varphi=23,691-3,092e$
	$E_k = f(e)$	0,95	$E_k=4,78-1,120e$
	$esl = f(S_r)$	0,93	$esl=0,0245-0,0280 S_r$
Суглинки	$c = f(e)$	0,92	$c=54,234-16,18e$
	$\varphi = f(e)$	0,96	$\varphi=29,131-7,255e$
	$E_k = f(e)$	0,98	$E_k=6,31-2,918e$
	$esl = f(S_r)$	0,78	$esl=0,0223-0,0265 S_r$

Таблица 9 - Нормативные значения удельного сцепления c_n , кПа, угла внутреннего трения φ_n , град., и компрессионного модуля деформации E_n , МПа, элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов магматических пород

Виды связных грунтов	Показатель текучести, I_L	Наименование характеристики	Нормативные значения c_n , кПа, φ_n , град., E_n , МПа при коэффициенте пористости e , равном:								
			0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,25	1,35
Суглинки	$0 < I_L < 0,25$	c_n , кПа	45	44	42	40	39	37	36	-	-
		φ_n , град.	25	24	24	23	22	22	21	-	-
		E_n , МПа	22	19	18	17	15	14	12	-	-
Глины	$0 < I_L < 0,25$	c_n , кПа	-	49	47	45	43	41	39	37	36
		φ_n , град.	-	22	21	21	21	20	20	20	20
		E_n , МПа	-	18	17	16	14	13	11	9	7

Примечание

- 1 Данные таблицы распространяются на элювиальные глинистые слабоструктурные грунты, в которых содержание крупнообломочных частиц ($d \geq 2$ мм) не превышает 20 % по массе;
- 2 Нормативные значения модуля деформации получены путем умножения компрессионного модуля деформации на поправочный коэффициент m_k (В.С. Казанцев, 2007).

Таблица 10 - Нормативные значения относительной деформации просадочности ε_{sln} , д.е., элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов магматических пород

Наименование грунтов и пределы нормативных значений их показателя текучести I_L		Обозначение характеристики грунтов	Характеристики грунтов при коэффициенте водонасыщения S_r , равном						
			0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85
Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	ε_{sln}	0,016	0,013	0,010	0,008	0,005	0,002	0,000
Глины	$0 \leq I_L \leq 0,25$		0,018	0,015	0,012	0,009	0,006	0,004	0,001

Примечание

1 Данные таблицы распространяются на элювиальные глинистые слабоструктурные грунты, в которых содержание крупнообломочных частиц ($d \geq 2$ мм) не превышает 20 % по массе;
 2 Нормативные значения относительной деформации просадочности получены при испытании элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов в лабораторных условиях по методу «одной кривой».

После нахождения зависимостей и выведения уравнений регрессии была составлена таблица нормативных значений механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов (таблица 9), а также таблица нормативных величин относительной деформации просадочности (таблица 10).

Полученные данные были сопоставлены с существующими таблицами нормативных значений прочностных и деформационных характеристик элювиальных грунтов. При сравнении видно, что в целом нормативные значения прочностных и деформационных свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов территории города Челябинска несколько ниже данных приведенных во всероссийских нормативных документах (СП 11-105-97, СП 47.13330.2012 и др.). В то же время при сопоставлении с данными полученными В.П. Маричевым (1977) видна хорошая сходимость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы, определяющие научную новизну и практическую значимость работы, заключаются в следующем:

1. Определён химический и минеральный состав глинистого элювия по интрузивным породам в пределах города Челябинска;
2. Определено макро- и микростроение глинистого элювия по интрузивным породам в пределах города Челябинска;
3. Установлена пространственно-временная изменчивость физико-механических свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов;
4. Выявлены корреляционные зависимости прочностных и деформационных характеристик элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов от их физических показателей, а также зависимости физических свойств элювиальных глинистых грунтов от их химико-минерального состава;
5. Составлена территориальная таблица нормативных показателей прочностных и деформационных свойств элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов;
6. Составлена территориальная таблица нормативных показателей величины относительной деформации просадочности элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов;
7. Разработаны рекомендации по прогнозной оценке деформационных и прочностных характеристик, величины относительной деформации просадочности элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов города Челябинска;
8. Намечены дальнейшие шаги по более подробному изучению выявленных закономерностей изменчивости состава, строения и физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов.

Результаты данной работы рекомендуется использовать в практике инженерно-геологических изысканий, проектирования и устройства оснований и фундаментов, что позволит повысить достоверность деформационных и прочностных характеристик, используемых в расчётах оснований.

Применение полученных данных приведёт к снижению материальных затрат на проведение инженерно-геологических изысканий в пределах города Челябинска в среднем на 30-40%.

После обобщения полученных данных были составлены рекомендации по прогнозной оценке деформационных и прочностных характеристик, величины относительной деформации просадочности элювиальных глинистых слабоструктурных грунтов города Челябинска.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**В ведущих рецензируемых научных журналах, определённых ВАК России:**

1. Отечественный и мировой опыт изучения скальных и дисперсных элювиальных глинистых грунтов для инженерно-геологических целей / *Барановский А.Г.* // Инженерные изыскания, 2015, №12. С.34-41.

2. Состав и строение дисперсной зоны коры выветривания гранитоидов территории города Челябинска / *Барановский А.Г.* // Инженерные изыскания, 2018, № (печатается)

3. Временная изменчивость физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов города Челябинска / *Барановский А.Г.* // Геоэкология, 2017, №5. С. 57-66.

В научных сборниках, журналах и материалах конференций:

4. Специфические свойства элювиальных грунтов города Челябинска и особенности строительства на них / *Барановский А.Г.* // Промышленное и гражданское строительство, 2013, №11. С.16-18.

5. Пространственная изменчивость свойств элювиальных глинистых грунтов / *Барановский А.Г.* // Инженерные изыскания в строительстве. Материалы одиннадцатой научно-практической конференции молодых специалистов. / Отв. ред. Павлова О.П. М.: АО «ПНИИИС», 2015. С. 3-8.

6. Изменение физико-механических свойств элювиальных глинистых грунтов под влиянием техногенных факторов / *Барановский А.Г.* // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9-й Международной научно-практической конференции “ГЕОРИСК – 2015”: в 2 т. / Отв. ред. В.И. Осипов. М.: РУДН. 2015. Том 1. С. 92-97.

7. Просадочность элювиальных глинистых грунтов Южного Урала / *Барановский А.Г.* // XII международная научно-практическая конференция: «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия». Новосибирск, 2015. №5(12). Ч. 3. С. 149-153.

8. Влияние минерального и химического состава элювиальных глинистых грунтов на их физические свойства / *Барановский А.Г.* // Сергеевские чтения. Выпуск 18. «Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи». М.: РУДН, 2016. С. 28-32.

9. Микронеоднородность элювиальных глинистых грунтов / *Барановский А.Г.* // Материалы двенадцатой научно-практической конференции молодых специалистов / Отв. ред. Павлова О.П. М.: АО «ПНИИИС», 2016. С. 48-55.

Подписано в печать 2018 г.
Формат А4/2
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Тираж 150 экз. Заказ №
Типография