

На правах рукописи



Чжан Цзе

**ГИПЕРГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОРЕННЫХ
СУГЛИНКОВ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА И ЛАТЕРИТОВ
ЮЖНОГО КИТАЯ**

Специальность 25.00.08 – инженерная геология,
мерзлотоведение и грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2010

Работа выполнена на кафедре инженерной геологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Пендин Вадим Владимирович

Научный консультант: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Роман Лидия Тарасовна

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
Ганова Светлана Дмитриевна

кандидат геолого-минералогических наук,
Гусельцев Александра Сергеевич

Ведущая организация: Московский государственный университет имени Ломоносова (МГУ им. Ломоносова), геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии.

Защита состоится 20 мая 2010 г. в 15 час. в ауд. 5-49 на заседании диссертационного совета ДМ.212.121.01 Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе.

Автореферат разослан « 15 » апреля 2010 г.

Отзыв на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просьба направлять по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, ученому секретарю Диссертационного совета Вязковой О.Е.,

Телефон: (495) 433-65-44 (добавочный 11-60; 12-05)

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук



О.Е. Вязкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В наше время чрезвычайно быстро происходит накопление данных о процессах, протекающих в верхней оболочке земной коры, в частности о формировании и распространении кор выветривания. Проблема изучения процессов и кор выветривания является одной из важнейших в инженерной геологии. Современное развитие инженерной геологии, как науки, изучающей строение и динамику верхней части литосферы в связи с инженерно-строительной деятельностью человека, обязывает на новом уровне определить научные и практические задачи специализированного изучения геологических процессов и кор выветривания. Роль кор выветривания (гипергенеза) в решении практических задач инженерной геологии исключительно велика. Возведение наземных и подземных сооружений на выветрелых грунтах связано со значительными трудностями. Прогнозы оползней и обвалов, оценка временной и длительной устойчивости природных склонов, откосов выемок и бортов карьеров, а также характеристика абразии, эрозии, переработки берегов и других явлений не могут быть даны обоснованно без глубокого изучения процессов выветривания. Имеется существенное отставание в изучении теории процессов выветривания и в разработке методики их инженерно-геологической оценки; почти не применяются методы моделирования. Нельзя считать удовлетворительным положение с вопросами инженерно-геологической терминологии и классифицированием геологических процессов и кор выветривания, что является отражением разного и не всегда объективного их понимания. Чтобы суметь оценить значение гипергенных процессов при инженерно-геологической характеристике глинистых грунтов, нужно изучить грунты, находящиеся в разных климатических условиях, с различным набором действующих агентов и факторов выветривания и изменения их состава, строения и свойств.

Цель работы – установить закономерности формирования кор выветривания в умеренных и субтропических климатических условиях на основе изучения изменения состава, строения и свойств моренных суглинков и латеритов с получением инженерно-геологических характеристик в зависимости от факторов и процессов их обуславливающих.

Задачи работы

В соответствии с целевой установкой поставлены следующие задачи научных исследований.

1. Разработать методику комплексного экспериментального исследования влияния многократного циклического промерзания-оттаивания на

изменение состава, строения и свойств грунтов.

2. Провести экспериментальные исследования динамики и выявить закономерности преобразования состава, строения и свойств моренных суглинков при многократном промерзании-оттаивании.
3. Выделить типы покровных суглинков и лессовидных грунтов, разработать гипотезу формирования их гранулометрического состава при многократном промерзании-оттаивании в умеренной климатической зоне.
4. Разработать логико-графическую модель преобразования моренных суглинков и их возможного перехода в категорию покровных суглинков и лессовидных грунтов.
5. Разработать методику и провести комплексные экспериментальные исследования влияния количества свободных оксидов железа (не силикатного) на изменение состава, строения и свойств латерита и влияние факторов окружающей среды на свободные оксиды железа.
6. Уточнить классификацию латерита, изучить закономерности изменчивости состава, строения и свойств латерита, формирующегося на гранитоидах. Построить логико-графическую модель формирования латерита.

Фактический материал, методы исследования

Основными объектами исследований послужили моренные суглинки московского оледенения, которые отбирались в Московской области (на территории Загорского учебного полигона РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, г. Сергев-Посад и на участке поселка Дубки Одинцовского района), и латериты из провинции Гуандун (КНР).

В ходе выполнения работы автором сконструирована установка и отработана методика комплексного экспериментального исследования влияния многократного циклического промерзания-оттаивания на изменение состава, строения и свойств грунтов, проведено более 250 экспериментов, на более чем 100 образцах моренных суглинков и 50 образцах латеритов. Полученные результаты обработаны и проанализированы по данным лабораторных определений гранулометрического состава и физических свойств грунтов. При этом определение водно-физических и прочностных свойств проведены непосредственно автором.

Разработка методики и проведение комплексных исследований влияния количества свободных оксидов железа на изменение состава, строения и свойства латерита и влияние факторов окружающей среды на свободные оксиды железа, формирующегося на гранитоидах, проводились в Цзилиньском Университете (Китайская Народная Республика). При непосредственном участии автора в качестве научного сотрудника.

Научная новизна

1. Разработана методика комплексного экспериментального исследования, которая позволила выявить динамику закономерностей преобразования состава, строения, физических и механических свойств моренных суглинков при многократном промерзании-оттаивании.
2. Впервые выделены типы покровных суглинков, предложены гипотеза и логико-графическая модель формирования покровных суглинков и лессовидных грунтов в умеренной климатической зоне.
3. Разработана методика и проведены комплексные экспериментальные исследования влияния свободных оксидов железа (не силикатного) на изменение состава, строения и свойств латерита; оценено влияние факторов окружающей среды на свободные оксиды железа.
4. Уточнена классификация латерита, изучены закономерности изменчивости состава, строения и свойств латерита, формирующегося на гранитоидах. Построена логико-графическая модель формирования латерита.

Основные защищаемые положения

1. В результате реализации комплексной методики экспериментальных исследований изменения состава, строения и физико-механических свойств моренного суглинка при многократном циклическом промерзании-оттаивании установлены следующие закономерности: накопление тонкопесчанистой фракции (0.1 – 0.05мм); уменьшение показателей пластичности; уменьшение плотности; повышение пористости; снижение длительной прочности на примере эквивалентного сцепления.
2. На основе логико-графического моделирования выявлена роль процессов эпикриогенеза и синкриогенеза при формировании свойств покровных суглинков в условиях циклического промерзания-оттаивания, как полигенетических образований.
3. В результате реализации комплексной методики экспериментальных исследований и логико-графического моделирования выявлена роль количества свободных оксидов железа (не силикатного) на изменение состава, строения и свойств латерита, в зависимости от температуры и водородного показателя (величины pH).

Практическая значимость и реализация результатов работы

Комплекс решенных в работе вопросов, касающихся закономерностей изменения состава и свойств грунтов в умеренной климатической зоне может быть использован для разработки теоретических положений криолитогенеза, общего и инженерного мерзлотоведения. Результаты проведенных исследований могут

использоваться при прогнозе изменения тепло- и массообменных, деформационных и прочностных свойств грунтов (как результата изменения их свойств и строения при многократном промерзании-оттаивании), для оценки оснований сооружений, а также для прогноза таких экзогенных геологических процессов, как солифлюкция, морозное выветривание, разрушение берегов и т. п.

Результаты исследования формирования, состава, структуры и свойств свободных оксидов железа объясняют специфические инженерно-геологические особенности латерита. Они могут служить основой для разработки прогноза изменения состава, строения и свойств (особенно физико-механических свойств) латерита для решения многих задач инженерной практики – строительства и эксплуатации различных сооружений, а также для исследования таких экзогенных геологических процессов, как оползневые, эрозионные, абразионные и т. п.

Апробация работы и публикации

Отдельные вопросы и основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Межвузовской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле» (Москва, РГГРУ, 2008г и 2010 г.); Российской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Планета Земля: актуальные вопросы геологии глазами молодых ученых и студентов» (Москва, геологический факультет МГУ им. Ломоносова, 2009 г.); IX международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, РГГРУ, 2009 г.); Международной научной конференции «Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии» (Москва, геологический факультет МГУ им. Ломоносова, 2010 г.). По теме работы опубликовано 13 печатных работ, в том числе 3 в реферируемых журналах.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, 9-ти глав сгруппированных в три части, и заключения. Общий объем работы 184 страницы текста, проиллюстрированного 82 рисунками и 28 таблицами. Список литературы содержит 159 наименований.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору, члену-корреспонденту РАЕН В.В. Пендину за постоянное внимание и всестороннюю помощь.

Автор глубоко признателен научному консультанту, заслуженному геологу РФ, доктору геолого-минералогических наук, профессору Л. Т. Роман, под руководством которой проведено экспериментальное исследование влияния многократного циклического промерзания-оттаивания на изменение состава, строения и механических свойств грунтов.

Автор благодарен профессору Ван Чин (Цзилиньский университет, КНР) за большую помощь в ходе исследований влияния количества свободных оксидов железа на изменение состава, строения и свойства латерита и влияние факторов окружающей среды на свободные оксиды железа.

В процессе работы помощь, поддержку и консультации автору оказали сотрудники кафедры инженерной геологии РГГРУ профессор В.В. Дмитриев, профессор Л.А. Ярг, профессор В.М. Кувшинников, с.н.с. Т. П. Дубина, с.н.с О.С. Овсянникова и сотрудники кафедры геокриологии геологического факультета МГУ вед.н.с. В.Н. Зайцев, ст.преп. С.С. Волохов, с.н.с. Л.В. Шевченко и др.

Данная диссертационная работа выполнена в рамках и при поддержке грантов РФФИ (проект 09-05-00551а), РФФИ-ГФЕН (Российско-Китайский совместный проект 08-05-92213а и 08-05-92220а) и гранта президента РФ-НШ-0478.2008.5.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дана общая характеристика работы, сформулированы ее цели и задачи.

Часть I. Современные представления о гипергенезе

Глава 1. Гипергенные процессы и их инженерно-геологическое значение

Гипергенные процессы - процессы химического и физического преобразования минерального вещества в верхних частях земной коры и на её поверхности под воздействием атмосферы, гидросферы и живых организмов при различных температурах. Под влиянием гипергенных процессов происходят: образование коры выветривания и зоны окисления месторождений, почвообразование, формирование состава подземных вод, рек, озёр, морей и океана, хемогенное и биогенное осадкообразование, диагенез и ранний эпигенез осадков (по В.А. Королеву, 2001). Термины гипергенез, гипергенные процессы используются в литературе для обозначения разных понятий. В частности, гипергенез трактуется и как синоним выветривания.

К числу компонентов внешних сред, активно реагирующих с горными породами в процессе выветривания, относятся: солнечное излучение; атмосферные осадки; влияние мороза (отрицательных температур); кислород и углекислый газ атмосферы; растительность; микроорганизмы; зоны окисления сульфидных месторождений; промышленные предприятия; жидкие, твердые, газообразные отходы и др.

К числу процессов, изменяющих химико-минеральный состав и дисперсность грунтов, относятся: растворение, окисление и восстановление, гидролиз,

комплексообразование, гидратация, катионный обмен, диализ, карбонизация, жизнедеятельность микроорганизмов. Характер этих процессов в значительной степени определяется самим составом атмосферы, гидросферы, грунтов.

Механизм, путем которого грунт или минерал выветривается, определяется величиной энергии воздействующего реагента относительно величины энергии связи (устойчивости) выветриваемого вещества.

Климатические типы коры выветривания по характеру отношения количества атмосферных осадков к величине испарения целесообразно разделить на температурно-влажностные классы (ТМК). Температурно-влажностный класс коры выветривания определяется как семейство кор выветривания, формирующееся в условиях определенного температурного и влажностного режимов и отвечающее их типам почв и биоценозов (отмечено в ряде работ Л. А. Ярг).

Интенсивность развития процессов выветривания подчиняется зонально-климатическим факторам, определяющим пространственное региональное распространение зон выветривания. Четкая зависимость состава и свойств выветрелых грунтов от характера гидрогеохимической, гидро- и термодинамической обстановки прослеживается не только по глубине, но и в широтном плане (в различных климатических зонах).

Изучению процессов выветривания в инженерно-геологических целях посвящены работы Б.М. Гамалея, А.П. Дейнеки, Э.А. Джавахишвили, В.П. Зверева, В.А. Зверевой, Г.С.Золотарева, Н.В. Коломенского, З.А. Макеева, Ю.Д. Матвеева, С.С. Павлова, П.Н. Панюкова, Е.М. Сергеева, Г.Г. Скворцова, В.В. Фромма, А. Хемрола, В.Б. Швеца, Л.А. Ярг и многих других ученых.

Современное развитие инженерной геологии, как науки, изучающей строение и динамику верхней части литосферы в связи с инженерно-строительной деятельностью человека, обязывает на новом уровне определить научные и практические задачи многогранной проблемы специализированного изучения процессов формирующих свойства кор выветривания, в том числе в условиях циклического промерзания-оттаивания.

Часть II. Формирование коры выветривания в умеренных климатических условиях

Глава 2. Современные представления об изменении дисперсных грунтов под действием многократного промерзания-оттаивания в умеренных климатических условиях

Циклическое промерзание-оттаивание играет важную роль в формировании

покровных отложений, образовании лессовых толщ и льдистых эпигенетических и сингенетических мерзлых грунтов. Наряду с этим установлено, что промерзание-оттаивание определяет изменение состава, строения и свойств дисперсных грунтов. Это показано в работах многих исследователей (Н.А. Качинский; А.Е. Федосов; П.Д. Евдокимов; И.И. Зауэрбей; Е.В. Пустовалов; А.Н. Чухрова; И.А. Тютюнов; Е.П. Шушерина; Н.А. Цытович; Г.П. Мазуров; Е.М. Сергеев; Н.Ф. Полтев; А.А. Дидова; Н.М. Круглова; В.Д. Казарновский; Ю.М. Львович; В.А. Кудрявцев; Н.Ф. Полтев; А.И. Попов; Ф.А. Никитенко; В.М. Конищев; А.М. Воронин; Ф.Н. Лещиков; Т.Г. Рященко; А.В. Минервин; С.С. Морозов; В.И. Васильева; Е.С. Дацько; М.Ф. Хасанов; M. Sillanpää; L.R. Weber; R. Walker; A.E. Corte; W.C. Hinman; H.L. Jessbenger; S. Potts Allan; R.W. Culley; Fischer и др.).

Многочисленные полевые исследования В.Г. Григорьевой, В. Н. Конищева, Г.П. Мазурова, А.В. Минервина, Н.Ф. Полтева, А. И. Попова, Е.М. Сергеева, В.Т. Трофимова и др., затем подтвержденные лабораторными работами, показали влияние циклического промерзания-оттаивания на изменения состава и свойств грунтов.

Большинством исследователей производилось изучение изменений одного или нескольких параметров грунта, причем чаще всего сопоставлялись начальные данные и конечные результаты преобразований состава, строения и свойств грунтов во времени. Исследование изменений инженерно-геологических характеристик не производилось на моренных суглинках. Не ясен механизм их криогенного выветривания, не выяснены закономерности изменения дисперсности, физических, водно-физических и физико-механических свойств. Таким образом, результаты уже проведенных теоретических и экспериментальных исследований позволили наметить основные направления дальнейшего комплексного изучения характера воздействия процессов многократного промерзания-оттаивания на состав, строение и свойства моренных суглинков в целях разработки методов прогноза их криогенного выветривания.

Глава 3. Методика комплексного исследования влияния многократного циклического промерзания-оттаивания на изменение состава, строения и свойств грунтов

Исследования были направлены на установление изменения гранулометрического состава, влажностных показателей, плотности, эквивалентного сцепления при циклическом промерзании-оттаивании. Экспериментально исследовались две серии образцов: естественного (I) и

нарушенного (II) сложения. Предварительно разрабатывалась модель, позволяющая обеспечивать подобие процессов промерзания-оттаивания в природных и лабораторных условиях исследования включали три стадии I, II, III (рис.1).

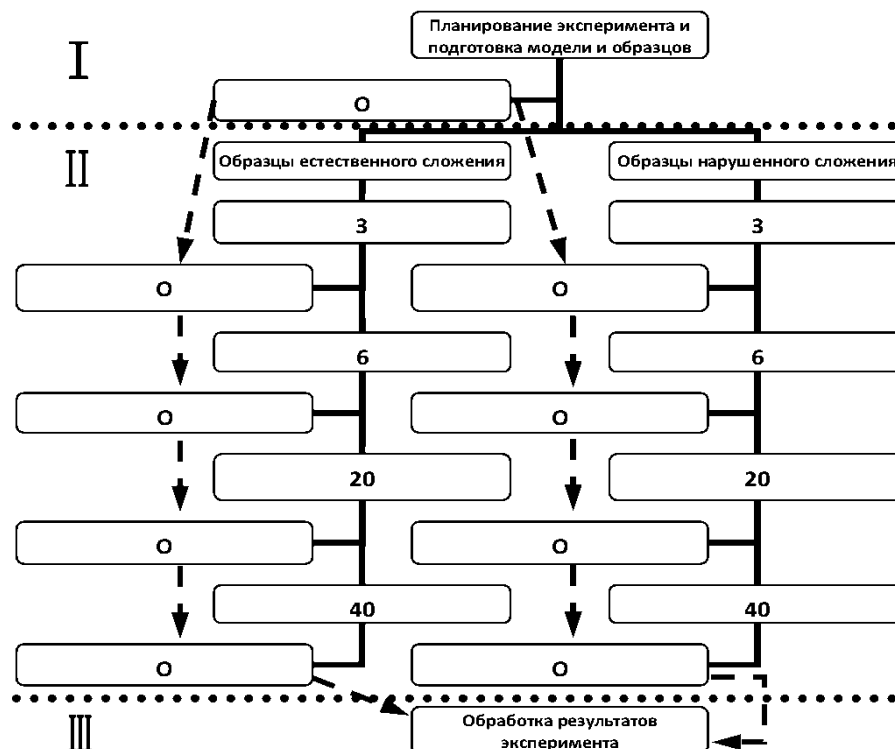


Рис.1. Схема исследований:

O – определение свойств грунтов; 3, 6, 20, 40 – номер цикла промерзания-оттаивания; I – первая стадия (планирование эксперимента и подготовка модели и образцов); II – вторая стадия (проведение экспериментов и контроль их достоверности); III – третья стадия (обработка результатов эксперимента)

Образцы имели высоту 20 мм, диаметр – 56.6 мм. Образцы серии I вырезались из монолитов режущим кольцом. Грунт для приготовления образцов серии II высушивался, просеивался через сито с диаметром 2 мм; затем замачивался дистиллированной водой, выдерживался в течение суток для равномерного распределения влаги. Полученная паста укладывалась в кольца с послойным трамбованием.

Поверхность грунта изолировалась пленкой с целью обеспечения постоянной влажности при проведении всех циклов испытаний.

Для обеспечения плоскопараллельного промерзания-оттаивания образцы устанавливались в теплоизоляционную матрицу. Серии включали 40 циклов промерзания-оттаивания. Промерзание производилось в течение 16 часов в холодильной камере, имеющей температуру -7°C . Затем образцы оттаивали и выдерживали 8 часов при температуре $+20^{\circ}\text{C}$. Четыре образца каждой серии подвергались различному количеству циклов промерзания-оттаивания: 3, 6, 20, 40. Три образца, подвергающихся одинаковому количеству циклов, отбирались для

определения показателей состава и свойств: влажности, пределов пластичности, плотности, плотности частиц грунта и гранулометрического состава. Еще один из этих образцов в мерзлом состоянии при температуре -7°C испытывался в течение 8 часов вдавливанием сферического штампа диаметром $d = 22$ мм при постоянной нагрузке $P = 5.50$ кг с 6-ти кратной повторностью для определения эквивалентного сцепления.

Глава 4. Инженерно-геологическая характеристика исследуемых грунтов

В работе исследовались моренные суглинки (gIIms), которые были отобраны на территории Подмосковья (Загорский учебный полигон РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, г. Сергев-Посад Московской области).

Образец моренного суглинка естественного сложения является суглинком тяжелым песчанистым тугопластичным. Для него характерно большое содержание песчаных частиц – 56%, в два раза больше, чем пылеватых (27%). Среди песчаных фракций только тонкопесчаной (0.1-0.05 мм) много – 31%, остальных мало (10%). Средний диаметр d_{50} равен 0.062 мм; глинистых частиц (<0.005 мм) – 17%.

Образец моренного суглинка нарушенного сложения является суглинком текучим тяжелым пылеватым, так как грунт просеивался в воздушно-сухом состоянии через сито $d=2$ мм.

Естественная влажность (W_e) образца естественного сложения – 15%, а для грунтовой пасты она фиксированная – 24%. Для образцов естественного и нарушенного сложений W_L , W_p , и I_p почти не отличились. Величины показателя консистенции образца естественного и нарушенного сложения $I_L = 0.42$ и 0.47 , следовательно, грунты тугопластичные. Плотность твердых частиц этих образцов $\rho_s = 2.68$ и 2.70 г/см³.

Глава 5. Закономерности преобразования состава, строения, свойств моренных суглинков в результате многократного промерзания-оттаивания

Анализ данных гранулометрического состава исследованного моренного суглинка показал, что в обеих сериях в процессе циклического промерзания-оттаивания происходит как не интенсивная диспергация, так и агрегация.

Так, в суглинке естественного сложения (серия I) фракции от 0.05 до 0.005 мм претерпевают изменение, отмечается уменьшение их процентного содержания (Рис. 2, а). Содержание же тонкой песчаной фракции увеличивается (от 29% до 42%). Мелкие пылеватые частицы (0.01–0.005 мм) агрегируют и переходят в соседнюю фракцию (0.05–0.01 мм), а фракция 0.05–0.01 мм переходит в фракцию

0.1– 0.05 мм.

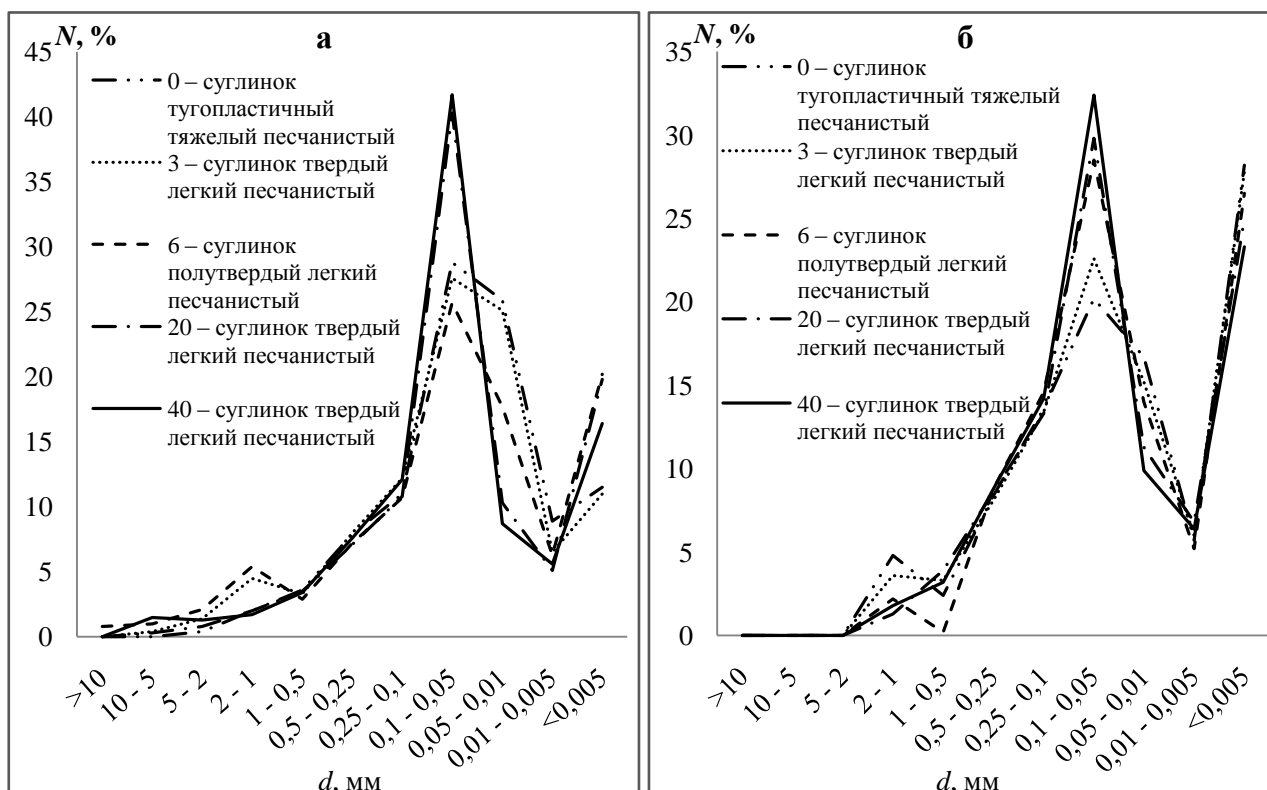


Рис. 2. Зависимость содержания фракций (N, %) различного диаметра (d, мм) от числа циклов промерзания-оттаивания: для моренных суглинков естественного сложения (а) и нарушенного сложения (б); 0; 3; 6; 20; 40 – количество циклов промерзания-оттаивания

Исследования образцов нарушенной структуры показали аналогичные результаты (Рис. 2, б). Содержание фракции 1–0.1мм практически не изменилось за 40 циклов промерзания-оттаивания. Характерным оказалось увеличение содержание тонкопесчаной фракции (0.1 – 0.05мм), что обусловлено разрушением микроагрегатов. В целом в обеих сериях преобразование дисперсности исследуемого суглинка в результате промерзания-оттаивания происходит как за счет криогенного разрушения, так и агрегации пылеватых, глинистых и коллоидных частиц.

Экспериментальные исследования показывают, что изменение дисперсности грунтов носит затухающий характер. Оценка интенсивности изменчивости дисперсности грунта в зависимости от количества циклов промерзания-оттаивания выполнялась нами на основе определения коэффициента $K_{изм}$ предложенного в работе Э.Д. Ершова, который позволяет характеризовать изменчивость всего спектра дисперсности и динамику процесса.

$$K_{изм} = \frac{1}{n} \sum |a_i - b_i|,$$

где n – число циклов промерзания-оттаивания; a – содержание фракции до криогенного воздействия; b – содержание после воздействия; i – номер фракции

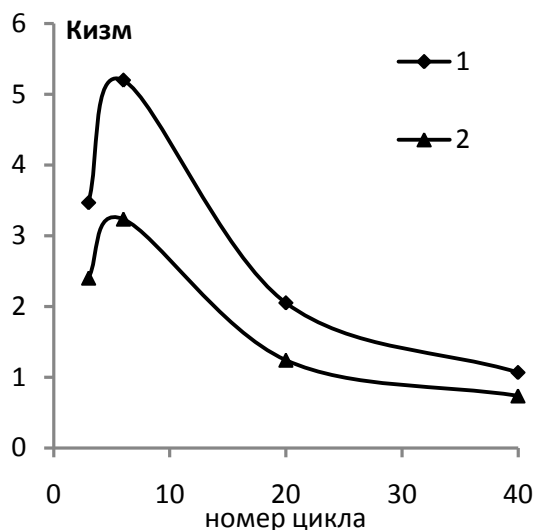


Рис.3. Зависимость коэффициента $K_{изм}$ моренного суглинка (1 – естественного и 2 – нарушенного сложения) от количества циклов промерзания-оттаивания

Динамика $K_{изм}$ в зависимости от количества циклов показывает (рис. 3), что в обеих сериях происходит асимптотическое затухание процессов изменчивости гранулометрического состава. Выделяются два этапа: первый, которому соответствует участок начальных циклов, имеет более высокую интенсивность изменений дисперсности. Он характеризуется наибольшим количеством необратимых процессов преобразования гранулометрического состава, таких как разрушение крупнопылеватых частиц и необратимая

агрегация более мелких. Этот участок относится к высокой интенсивности изменений гранулометрического состава ($K_{изм} > 1$). Для исследуемого суглинка он соответствует шести циклам, что сопоставимо с интенсивностью изменения гранулометрического состава при промерзании-оттаивании каолиновой глины.

На втором этапе протекают практически только обратимые процессы преобразования гранулометрического состава в течение последующих циклов промерзания-оттаивания. При дальнейшем промерзании-оттаивании грунт максимально приближается к равновесному состоянию.

Анализ изменчивости гранулометрического состава грунта ненарушенного сложения показывает существенно более низкую интенсивность изменчивости гранулометрического состава, так как при подготовке пасты грунты просеивались через сито $d=2$ мм, что обусловило их большую однородность. В этой серии разрушение песчаных зерен практически отсутствовало, но проявилась агрегация пылеватых и глинистых частиц с формированием тонкопесчаных частиц.

Анализ изменения основных физических свойств за счет многократного промерзания-оттаивания показывает, что естественная влажность грунтов почти не изменялась, так как все образцы промораживались в замкнутой системе, остальные показатели имеют не четко выраженную тенденцию к уменьшению значений.

При увеличении количества циклов верхний и нижний пределы пластичности W_L и W_p незначительно уменьшаются, что связано с накоплением тонкопесчаной фракции. Плотность также уменьшается после циклического промерзания-оттаивания, что обусловлено увеличением пористости. Полученные

эффекты наблюдаются до 6-и циклов промерзания-оттаивания. Тенденции изменения показателей физических свойств хорошо согласуются с теоретическими представлениями и опытными данными о трансформации гранулометрического состава, формирующегося при промерзания-оттаивании.

Исследования эквивалентного сцепления вдавливанием сферического штампа, которое учитывает как сцепление, вызванное цементом частиц льдом, так и внутреннее трение, показали следующее.

Влияние числа циклов замораживания-оттаивания на прочность мерзлого моренного суглинка тесно связано с формированием дисперсности, плотности, водных свойств. Эквивалентные сцепления моренного суглинка естественного и нарушенного сложения уменьшаются с увеличением числа циклов промерзания-оттаивания. Несмотря на значительный разброс опытных данных, просматриваются следующие закономерности.

Моренные суглинки естественного сложения (серия I) имеют наиболее существенное снижение сцепления после 6 циклов за счет увеличения газовой фазы (пористости) и количества незамерзшей воды (рис. 4,а).

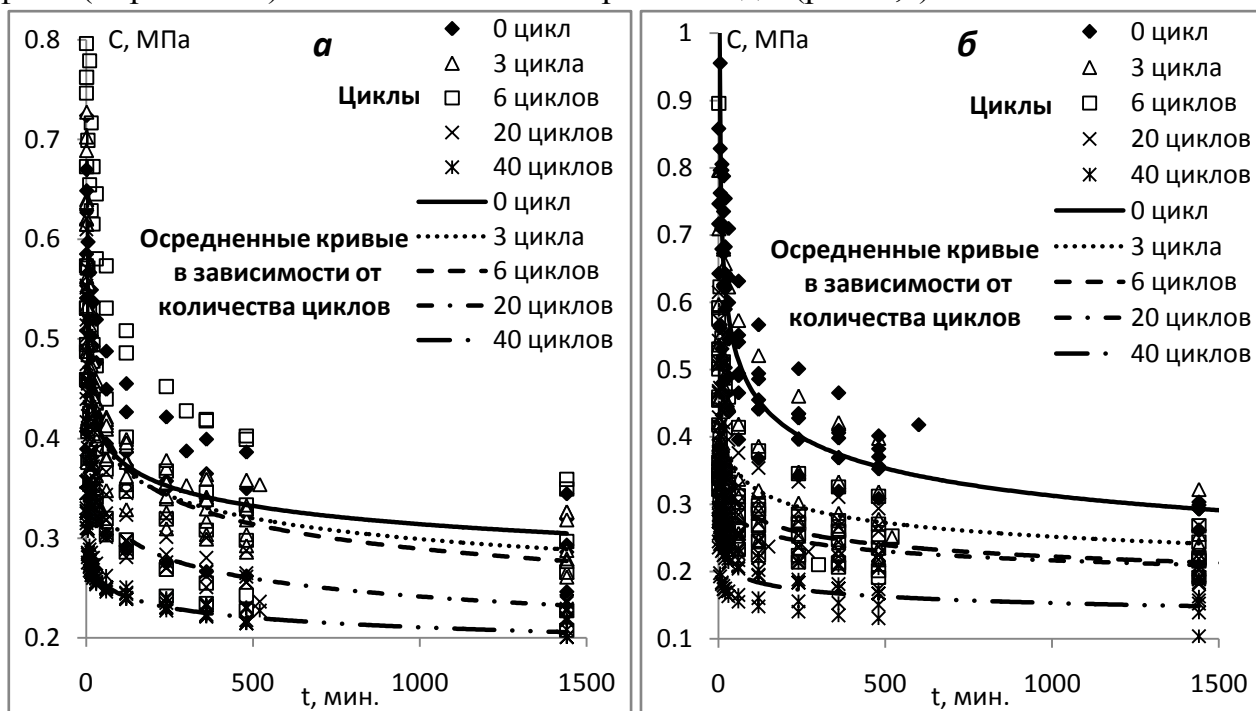


Рис. 4. Зависимость эквивалентного сцепления (С) от времени при различных циклах промерзания-оттаивания моренного суглинка естественного (а) и нарушенного (б) сложений от количества циклов (n); ($t = -7 \div +20^{\circ}\text{C}$, $T = 1440$ мин.(24 часов)).

В образцах нарушенного сложения (серия II) циклы оттаивания-промерзания обусловили снижение прочности, определенной в пределах 24-х часового периода испытаний (рис. 4,б). Как можно видеть, прочность образцов нарушенного сложения (серия II) ниже прочности образцов ненарушенного сложения (серия I), что можно объяснить разрушением первоначальных структурных связей.

Глава 6. Гипотезы формирования покровных суглинков

До настоящего времени генезис покровных суглинков полосы московского оледенения Русской равнины остается спорным. В основе многочисленных гипотез о происхождении покровных суглинков лежат три основных геологических процесса: выветривание, деятельность ледниковых вод, деятельность ветра. Некоторые ученые представляют условия образования покровных суглинков, как действие одного или нескольких факторов одного процесса, другие – как взаимодействие ведущих факторов нескольких процессов. Степень доказательства и правомерности той или иной гипотезы до настоящего времени не выявлена. Нередко спорные положения в определении ведущего фактора образования покровных суглинков возникают из-за различной трактовки самого понятия "генезис": процесс ли это образования исходного материала покровных суглинков – мелкозема, или – процесс, обусловивший перенос и отложение этого материала.

Анализ всех этих гипотез, а также новых экспериментальных данных показал, что по своему генезису покровные суглинки могут принципиально различаться. Среди всех покровных отложений можно выделить 2 типа по генезису образования. *Первый тип (синкриогенно-преобразованные покровные суглинки разного генезиса)* формируется в отложениях разного генезиса в ходе накопления и аккумуляции элементарных слоев и толщ осадков при циклическом промерзании-оттаивании в умеренных климатических условиях. *Второй тип (эпикриогенно-преобразованные покровные суглинки разного генезиса)* связан с покровными суглинками, преобразующимися при циклическом промерзании-оттаивании после завершения осадконакопления. Их накопление обусловлено тем или иным геологическим процессом (аллювиальным, озерно-аллювиальным, гляциальным и др.) с наложением на него криогенного процесса. Тем не менее, формирование гранулометрического состава и свойств синкриогенных и эпикриогенных покровных суглинков, в принципе, обусловлено процессом циклического промерзания-оттаивания.

Процессы, приводящие к формированию синкриогенных покровных суглинков, протекают в следующей циклической последовательности: накопление осадка – его увлажнение атмосферными или талыми водами – действие циклического промерзания-оттаивания. Эпикриогенные покровные суглинки образуются при циклическом промерзании-оттаивании после завершения накопления осадка и его увлажнения атмосферными или талыми водами.

Логико-графическая модель формирования синкриогенных и эпикриогенных покровных суглинков и формирования изменчивости гранулометрических

составов синкриогенных и эпикриогенных покровных суглинков в ходе этой совокупности процессов приведена на рис.5 и 6.

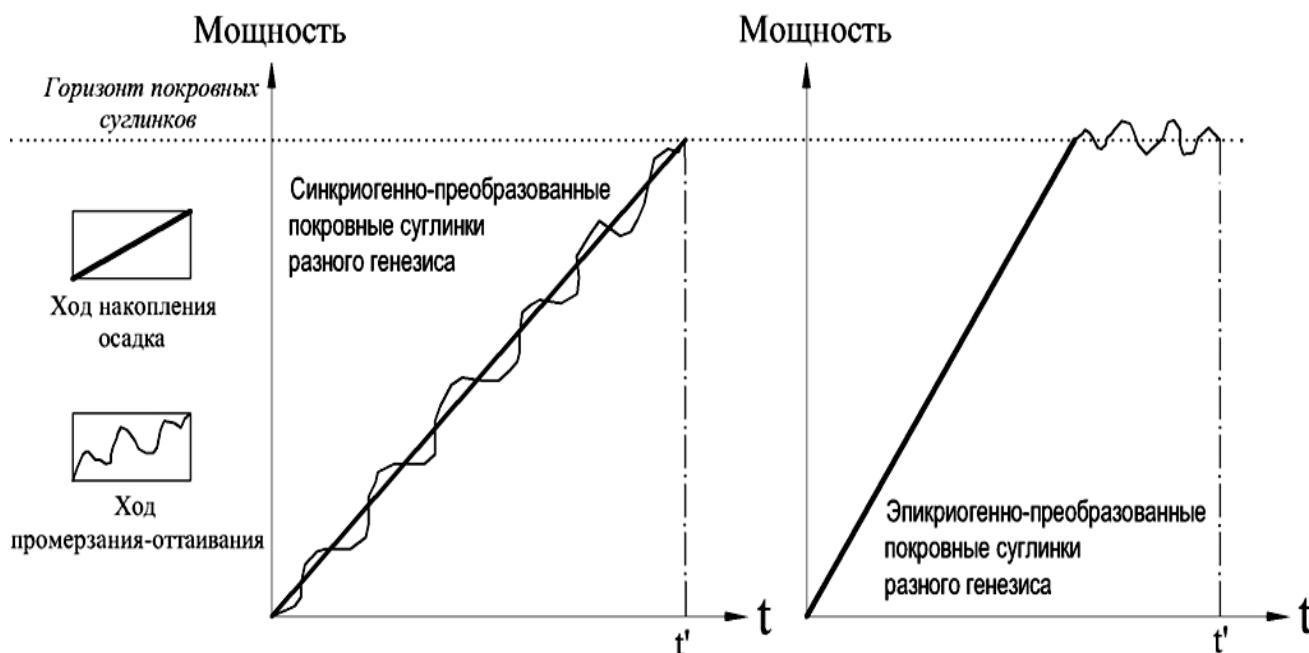


Рис.5. Логико-графическая модель формирования синкриогенных и эпикриогенных покровных суглинков

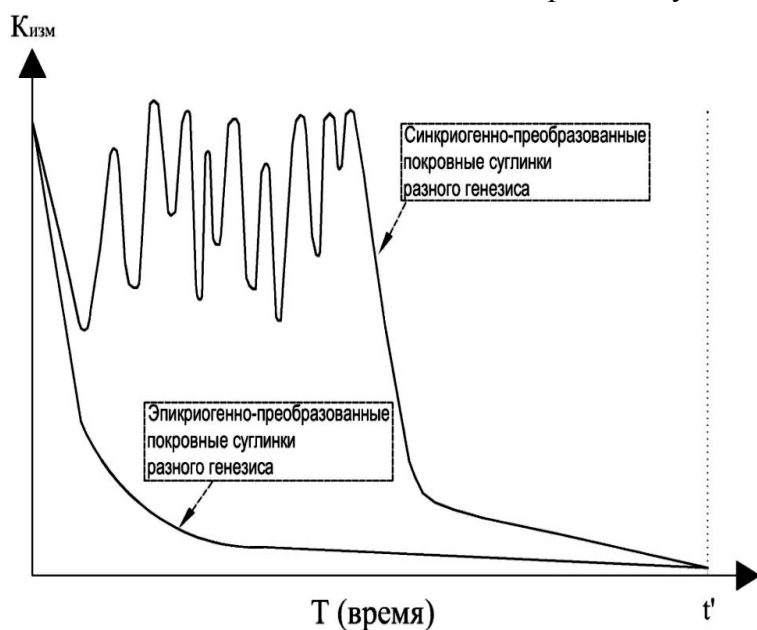


Рис. 6. Логико-графическая модель формирования изменчивости гранулометрического состава синкриогенных и эпикриогенных покровных суглинков

Многолетний опыт изучения покровных суглинков показал, что толщину покровных суглинков следует признать выдержанной в инженерно-геологическом отношении и в достаточной мере однородной по свойствам. Средние значения показателей инженерно-геологических свойств покровных суглинков различных районов европейской части РФ почти не отличаются друг от друга. Таким образом, можно сказать, что покровные суглинки образуются двумя

основными путями – синкриогенным и эпикриогенным.

Сравнение моренных суглинков естественного сложения, моренных суглинков после 40 циклов промерзания-оттаивания, покровных суглинков и лессовидных грунтов (северо-востока европейской части РФ и северной части провинции Цилинь КНР) по гранулометрическому составу позволяет выдвинуть следующую гипотезу.

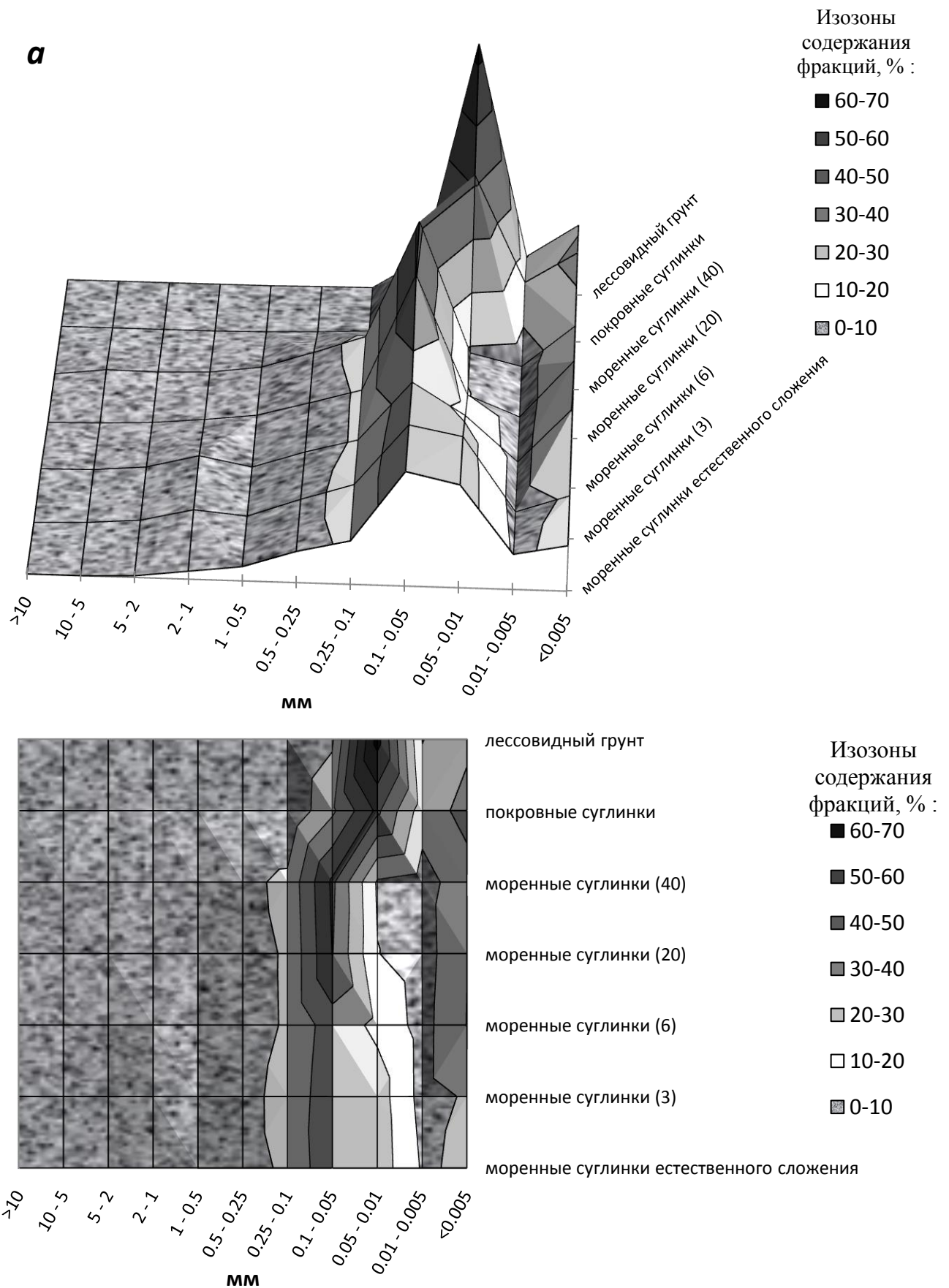


Рис.7. Модели гипотезы формирования гранулометрического состава лессовидных грунтов (а – 3D; б – плоская): моренные суглинки (3), (6), (20), (40) – моренные суглинки естественного сложения после 3, 6, 20, 40 циклических промерзаний-оттаиваний

Покровные суглинки находятся на переходном этапе образования лессовидных грунтов. Процессы, приводящие к формированию лессовидных грунтов, протекают в следующей последовательности: завершение формирования покровных суглинков – увлажнение атмосферными осадками или талыми водами – действие циклического промерзания-оттаивания, при котором происходят процессы разрушения частиц и агрегации. При этом во времени происходит накопление фракции 0.05-0.01мм, и так как в умеренных климатических условиях наблюдается достаточная степень увлажнения, покровные суглинки и лессовидные грунты не обладают просадочностью.

Модель гипотезы формирования гранулометрического состава покровных суглинков и лессовидных грунтов, предложенная автором, приведена на рис. 7.

На модели можно увидеть, что после 40 циклов промерзания-оттаивания в моренных суглинках содержание тонкопесчаной фракции достигает до 40-50%, далее идет дезинтеграция (разрушение песчаных фракций) и агрегация глинистых фракций, что приводит к уменьшению песчаных фракций и накоплению пылеватых фракций, т.е. формируются покровные суглинки. Далее идет образование лессовидных грунтов в результате интенсивного накопления пылеватой фракции 0.05 – 0.01мм – ее содержание достигает 50-70%.

Часть III. Формирование коры выветривания в субтропических климатических условиях

Глава 7. Представление о латеритах и их современная изученность

Латериты широко распространены в южной части КНР. Климат южного Китая – субтропический муссонный. По классификации Л.А. Ярг, температурно-влажностный класс южного Китая – субтропический слабоаридный.

Термин "латерит" впервые применен английским геологом Ф. Бьюкененом для обозначения красноцветных железистых пород коры выветривания, используемых в Китае, Индии и других азиатских и африканских странах для изготовления строительных кирпичей. Латерит образуется только в тропических и субтропических областях со среднегодовым количеством осадков более 1300—2000 мм и среднегодовой температурой 20—30°C. Они залегают на алюмосиликатных породах разного состава, формируясь в результате процесса латеритизации, при котором выносится свыше 90% SiO₂ (от общего их содержания в материнской породе).

Латеритизация – процесс глубокого и длительного выветривания алюмосиликатных горных пород, приводящий к образованию латеритов в условиях влажного тропического и субтропического климата. Латерит является

продуктом процесса латеритизации. Этот процесс характеризуется, с одной стороны, интенсивным выносом оснований Na, K, Ca, Mg, а с другой, — накоплением кремнезёма (SiO₂) и оксидов Al, Fe и Ti в остаточных породах.

Ряд авторов: Persons, Хуан Чжилунь (Huang Zhilun), Чжан Юнбо (Zhang Yongbo), Лин Дзонюань (Lin Zongyuan), Тан Дащон (Tang Daxiong) и Ван Чин (Wang Qing) разработали классификации элювиального гранитного латерита. Результаты исследований красных глин приведены в работах многих исследователей: Ли Чинкуй (Li Qingkui), Цзу Чжищань (Zu Zhiyuan), Цзуо Чуан (Zuo Quan), Чэнь Хунчжу (Chen Hongzhu), Юй Дэбинь (Yu Debin), Чэн Гань (Chen Gan), Лю Минцзунь (Liu Mingjun), Чжан Вэньхуа (Zhang Wenhua), Ху Хунмэй (Hu Hongmei), Лю Шэн Э (Liu Sheng E), Ян Фачин (Yng Faqing), Вэй Фудай (Wei Fucai) и др.

Глава 8. Методика комплексного исследования влияния количества свободных оксидов железа (не силикатного) и факторов окружающей среды на изменение состава, строения и свойства латерита

Методика данных исследований, согласно плану эксперимента, включает в себя систему подготовки образцов, выбор методических приемов и оборудования, методы комплексных лабораторных определений изменений состава, дисперсности, микростроения и свойств латерита в нарушенном сложении при изменении количества свободных оксидов железа (не силикатного) и изменении факторов окружающей среды (величина рН и температура) (рис. 8).

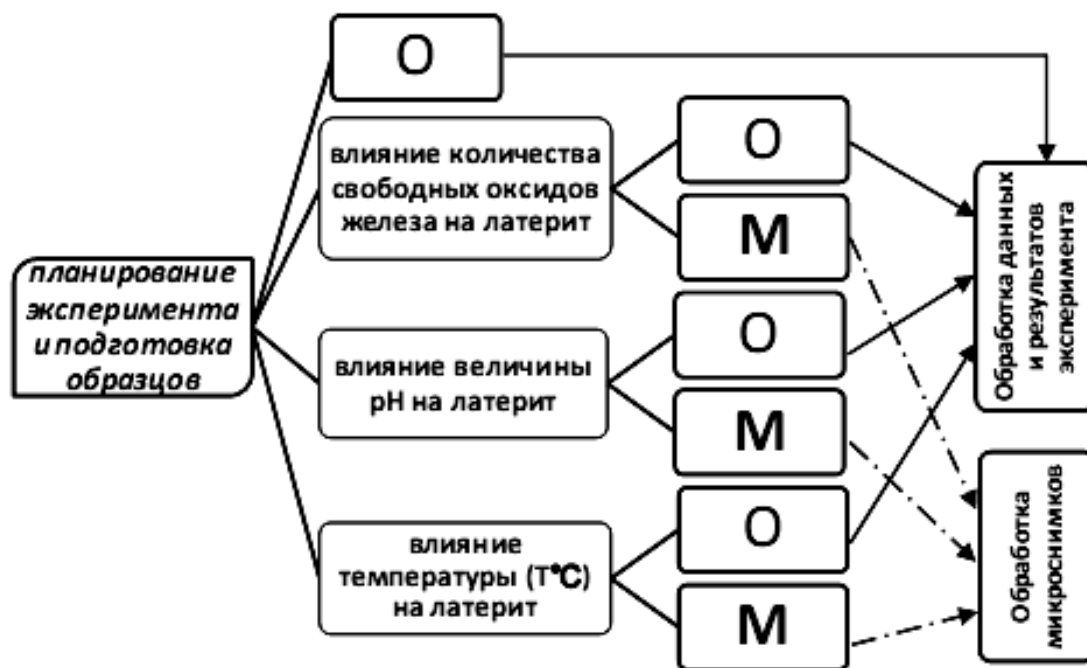


Рис. 8. Схема исследования латерита:

О – определение свойств грунтов; М – изучение микростроения грунтов

Образцы с различным количеством свободных оксидов железа были приготовлены из воздушно-сухого гранитного элювиального латерита. Затем в них добавляли аморфные $\text{Fe}(\text{OH})_3$, с целью изменения количества свободных оксидов. Растворы $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (1 моль/л) и NaOH (1 моль/л) были подвержены смешению при температуре ниже 20°C , после этого они многократно промывались дистиллированной водой для подготовки аморфных гелей гидроксида железа. Полученный раствор в различном процентном содержании добавляли в латерит. Затем из него готовилась грунтовая паста с влажностью 35%. После замачивания грунта выдерживались в течение 80 дней при температуре 60°C в закрытом сосуде.

Для подготовки образцов с различной температурой подбирались образцы воздушно-сухого гранитного элювиального латерита. Обеспечение постоянной влажности ($W=26\%$) и плотности (1.81 г/см^3) в исследуемых образцах достигалось их полной герметизацией пленкой (рис. 8.2, а). Затем эти образцы закладывали в воду на 15 дней (рис. 8.2, б) с различными температурами (30°C , 40°C , 50°C).

Для подготовки образцов с различной величиной рН подбирались образцы воздушно-сухого гранитного элювиального латерита, к которым добавляли слабокислые и слабощелочные растворы, для получения различных значений рН. Обеспечение постоянной влажности ($W=26\%$) и плотности (1.81 г/см^3) в исследуемых образцах достигалось их полной герметизацией пленкой. Затем эти образцы погружали в воду на 50 дней при температуре 30°C .

Глава 9. Закономерности изменчивости состава, строения и свойств латерита, формирующегося на гранитоидах

Исследованный латерит относится к среднему суглинку по классификации Н.А. Качинского, а по классификации ДТ-92 (нормативный документ министерства геологии и природных ресурсов КНР) относится к тяжелому суглинку. В крупнопылевой (по российской номенклатуре) фракции ($0.05-0.01\text{мм}$) существуют большое количество агрегатов, которые образовались из глинистой фракции, что указывает на агрегацию глинистых частиц. Основными компонентами минерального состава гранитного латерита являются кварц (45%) и каолинит (47%). Доля остальных минералов в грунте имеет подчиненное значение, среди которых встречается гетит (3%). Процесс латеритизации характеризуется, с одной стороны, интенсивным выносом оснований Na , K , Ca , Mg , а с другой — накоплением кремнезёма (SiO_2) и оксидов Al , Fe и Ti . Итак, по содержанию кварц и каолинит являются главными глинистыми минералами. Содержание водорастворимых солей в гранитном латерите незначительное, что связано с

процессом его образования и влиянием окружающей среды. Образцы содержали ионы кальция – 0.016%, хлор-ионы – 0.097% и сульфат-ионы – 0.036%; и гидрокарбонаты – 0.123%.

Для изучения физических и физико-химических свойств гранитного латерита определялись гигроскопическая влажность (W_g – 0.47%), верхний (W_L – 43%) и нижний (W_p – 27%) пределы пластичности, число пластичности (I_p – 16%), плотность (ρ – 1.81 г/см³) и плотность твердых частиц (ρ_s – 2.72 г/см³), удельная поверхность (Ω – 69.64 м²/г) и емкость обмена грунта (CEC – 15.1 мг-экв/100г).

При увеличении влажности скорость размокания латеритов увеличивается. Отметим, что воздушно-сухие образцы латерита размокают быстрее, чем воздушно-сухие покровные суглинки.

При увеличении количества свободного железа в латерите происходит увеличение пылевой фракции, удельной поверхности (Ω), сцепления (C) и уменьшение глинистой фракции, числа пластичности (I_p), величины pH , емкости обмена грунта (CEC), угла внутреннего трения (ϕ).

При повышении температуры количество свободных оксидов железа латерита увеличивается, следовательно, происходит увеличение пылевой фракции, удельной поверхности (Ω), сцепления (C) и уменьшение глинистой фракции, числа пластичности (I_p), величины pH , количества ионного обмена (CEC – емкости обмена грунта), угла внутреннего трения (ϕ).

При увеличении pH количество свободных оксидов железа латерита уменьшается, следовательно, происходит уменьшение количества пылевой фракции, удельной поверхности (Ω), сцепления (C) и увеличение глинистой фракции, числа пластичности (I_p), емкости обмена грунта (CEC), угла внутреннего трения (ϕ).

Нужно отметить, что свободные оксиды железа являются «цементирующим» веществом в процессе агрегации глинистых частиц гранитных латеритов.

Общая характеристика микростроения гранитного латерита изучалась по РЭМ-изображениям при различных увеличениях. Агрегированная микроструктура является главной структурой в этом образце. Между частицами преобладают смешанные коагуляционно-цементационные контакты.

При увеличении содержания свободных оксидов железа количество железистых «рубашек» увеличивается, количество и размер пор уменьшаются, четкость границ между частицами глинистых минералов понижается, и структурная прочность латеритов усиливается за счет цементации оксидами железа.

Результаты микроструктурных исследований соответствуют

инженерно-геологическим особенностям латерита, а именно: с увеличением содержания свободных оксидов железа усиливаются его физико-механические свойства.

Анализ микроструктуры латерита при изменении температуры показывает, что при повышении температуры площадь железистых «рубашек» увеличивается, пористость уменьшается, агрегация структурных элементов увеличивается, количество свободных оксидов железа тоже увеличивается. Анализ микростроения латерита полностью подтверждает данные, полученные при инженерно-геологическом анализе свойств латерита.

Когда величина pH возрастает, количество свободных оксидов железа и железистых «рубашек» уменьшается, уменьшаются размеры агрегатов, ослабляется структурная прочность. Анализ микростроения латерита полностью подтверждает данные, полученные при инженерно-геологическом анализе свойств латерита.

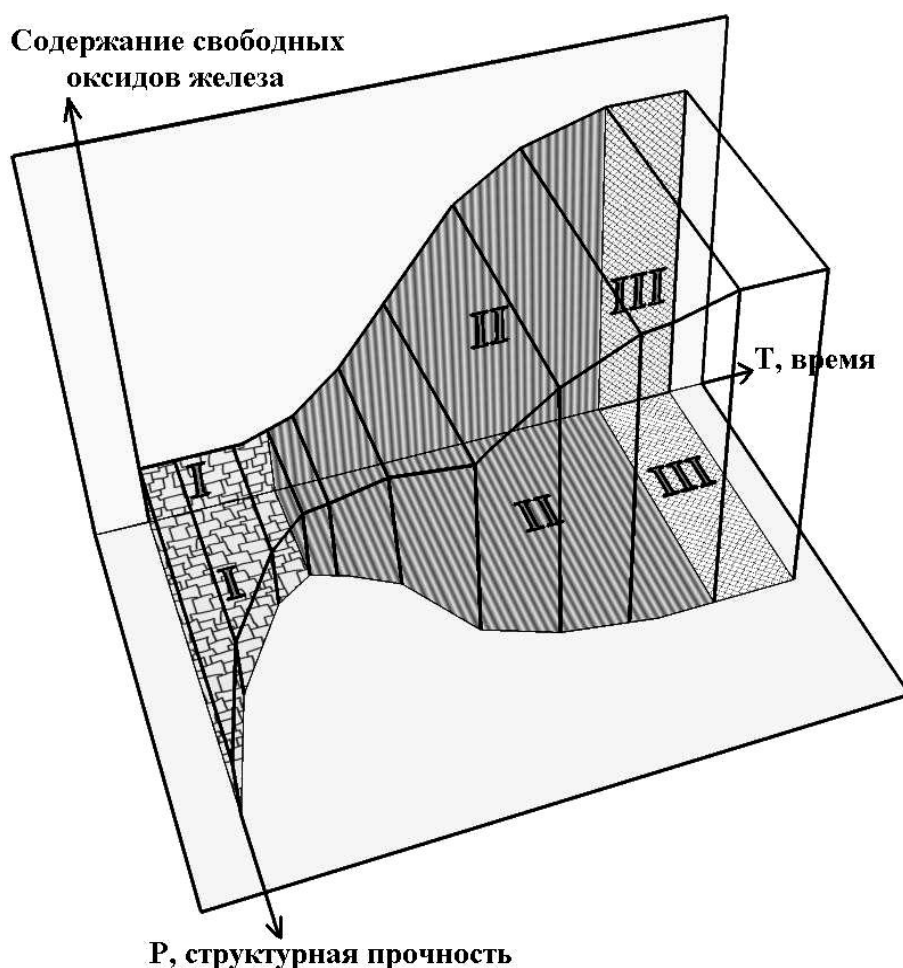


Рис. 9. Логико-графическая модель формирования латерита

Процесс формирования латерита в принципе происходит в 3 стадии:

- 1) стадия физических и химических процессов. На этой стадии пористость грунтов (еще не латерита) увеличивается и прочность уменьшается. Этот процесс

можно охарактеризовать как элювиальный;

- 2) стадия латеритизации. Эта стадия характеризуется, с одной стороны, интенсивным выносом оснований Na, K, Ca, Mg, а с другой — накоплением кремнезёма (SiO₂) и оксидов Al, Fe и Ti, интенсивно идет накопление свободных оксидов железа. Увеличение содержания свободных оксидов железа повышают прочность.
- 3) бокситоносная стадия. Это конечная стадия латеритизации, характеризуется интенсивным выносом воды из гидроксидов и образованием алюминиевых, железистых и бокситовых минералов. На этой стадии происходит также увеличение содержания свободных оксидов железа и прочность практически не возрастает;

Логико-графическая модель формирования латеритов в ходе этой совокупности процессов позволяет наглядно представить формирование состава, строения и свойств грунтов при выветривании в субтропических климатических зонах (рис.9).

ВЫВОДЫ

1. В моренных суглинках естественного и нарушенного сложения в процессе циклов промерзания-оттаивания происходит как диспергация так и коагуляция.

Характерным оказалось увеличение содержания тонкодисперсной фракции (0.1 – 0.05мм), что обусловлено разрушением микроагрегатов. Экспериментальные исследования показывают, что изменение дисперсности грунтов носит затухающий характер. Установлено два этапа (первый – более высокая интенсивность протекания изменений; второй – практически только обратимые процессы) преобразования дисперсности при многократном промерзании-оттаивании. При дальнейшем промерзании-оттаивании грунт максимально приближается к равновесному состоянию.

2. В процессе многократного промерзания-оттаивания естественная влажность грунтов почти не изменялась, так как все образцы промораживались по замкнутой системе, остальные показатели (плотность, пластичность, пористость и др.) имеют не четко выраженную тенденцию к уменьшению значений.

3. Эквивалентное сцепление мерзлого моренного суглинка естественного и нарушенного сложения уменьшается с увеличением числа циклов промерзания-оттаивания. Прочность образцов нарушенного сложения ниже прочности образцов ненарушенного сложения, что обусловлено разрушением

первоначальных структурных связей.

4. По генезису выделяются два типа покровных суглинков: 1 – *синкриогенно-преобразованные покровные суглинки разного типа генезиса*; 2 – *эпикриогенно-преобразованные покровные суглинки разного типа генезиса*.

5. По разрезу эпикриогенно-преобразованных покровных и моренных суглинков с ростом степени выветривания происходит: уменьшение песчаных и увеличение содержания пылеватых и глинистых частиц; снижение среднего диаметра структурных элементов грунта; рост коэффициента агрегированности; уменьшение размеров агрегатов; относительное уменьшение плотности; увеличение нижнего и верхнего пределов пластичности, числа пластичности, максимальной молекулярной влагоемкости, коэффициента пористости и пористости; возрастание гигроскопической влажности.

Размокаемость покровных суглинков зависит от их исходной влажности: при увеличении исходной влажности степень размокания образцов уменьшается и соответственно увеличивается их водопрочность (и наоборот). Важно отметить, что покровные суглинки после высушивания размокают гораздо быстрее.

6. Логико-графические модели формирования синкриогенных и эпикриогенных покровных суглинков и модель гипотезы формирования гранулометрического состава покровных суглинков и лессовидных грунтов в ходе этой совокупности процессов позволяют наглядно представить формирование состава, строения и свойств грунтов при выветривании в умеренных климатических зонах.

7. Латерит относится к среднему суглинку по классификации Н.А. Качинского, а по классификации ДТ-92 (нормативный документ министерства геологии и природных ресурсов КНР) относится к тяжелому суглинку. Глинистые частицы сильно агрегируют. Основными компонентами минерального состава гранитного латерита являются кварц (45%) и каолинит (47%).

Для изучения физических и физико-химических свойств гранитного латерита определялись гигроскопическая влажность ($W_z = 0.47\%$), верхний ($W_L = 43\%$) и нижний ($W_p = 27\%$) пределы пластичности, число пластичности ($I_p = 16\%$), плотность ($\rho = 1.81 \text{ г/см}^3$) и плотность твердых частиц ($\rho_s = 2.72 \text{ г/см}^3$), удельная поверхность ($\Omega = 69.64 \text{ м}^2/\text{г}$) и емкость обмена грунта (количество ионного обмена – СЕС – 15.1 мг-экв/100г). При увеличении влажности скорость размокания латеритов увеличивается. Отметим, что воздушно-сухие образцы латерита размокают быстрее, чем воздушно-сухие покровные суглинки.

8. Анализ изменения инженерно-геологических свойств латерита при увеличении количества свободных оксидов железа, температуры и величины рН

представлен в таблице.

Название	Содержание свободных оксидов железа	pH	Содержание пылевой фракции	Содержание глинистой фракции	I_p	Ω	CEC	C	ϕ
Увеличение количества свободных оксидов железа	–	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓
Увеличение температуры T , °C	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓
Увеличение величины pH	↓	–	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↑

Примечания: ↑ – знак увеличения; ↓ – знак уменьшения

Нужно отметить, что свободные оксиды железа являются «цементирующим» веществом в процессе агрегации глинистых частиц гранитных латеритов.

9. Главным типом контактов между частицами является коагуляционно-цементационный контакт. При повышении температуры количество свободных оксидов железа и железистых «рубашек» увеличивается, пористость уменьшается, четкость границ между частицами глинистых минералов понижается, и структурная прочность латеритов усиливается за счет цементации оксидами железа. При увеличении величины pH наблюдаются противоположные тенденции.

Формирование латерита происходит в 3 стадии:

- 1) *стадия физических и химических процессов*. На этой стадии пористость грунтов (еще не латерита) увеличивается и прочность уменьшается. Этот процесс можно охарактеризовать как элювиальный.
- 2) *стадия латеритизации*. Эта стадия характеризуется, с одной стороны, интенсивным выносом оснований Na, K, Ca, Mg, а с другой — накоплением кремнезёма (SiO_2) и оксидов Al, Fe и Ti, интенсивно идет накопления свободных оксидов железа. Увеличение содержания свободных оксидов железа повышают прочность.
- 3) *бокситоносная стадия*. Это конечная стадия латеритизации, характеризуется интенсивным выносом воды из гидроксидов и образованием алюминиевых, железистых и бокситовых минералов. На этой стадии прочность латеритов практически не возрастает.

Логико-графическая модель формирования латеритов в ходе этой совокупности процессов позволяет наглядно представить формирование состава, строения и свойств грунтов при выветривании в субтропической климатической зоне.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. *Чжан Цзе*. Влияние химических условий среды на механические свойства красной глины. Межвузовская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле». РГГРУ. М.:2008. с.139.
2. *Чжан Цзе*. Формирование минерального и химического состава глинистых пород г.Гуйлинь южной КНР. Межвузовская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле». РГГРУ. М.:2008. с.140.
3. *Чжан Цзе*. Особенности размокаемости грунтов в различных климатических зонах при гипергенезе. Российская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная Году планеты Земля «Планета Земля: актуальные вопросы геологии глазами молодых ученых и студентов». МГУ им. Ломоносова. М.:2009. Том 2. с. 212.
4. *Чжан Цзе (Zhang Ze)*. Исследование способности к размоканию покровных суглинков (на примере полигона РГГРУ). IX Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». РГГРУ. М.:2009. Том 3. с.97.
- 5*. *Чжан Цзе, Николаева С.К.* Особенности размокания покровных суглинков Подмосквья и красных глин Китая // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2010. №2.
- 6*. *Чжан Цзе, Пендин В.В.* Преобразование моренных суглинков при многократном промерзании-оттаивании. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2010. №2. С58 – 63.
- 7*. *Роман Л.Т., Чжан Цзе*. Влияние циклов промерзания-оттаивания на физико-механические свойства моренного суглинка // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2010. №3 (Сдано в печать).
8. *Чжан Цзе*. Гипотеза формирования покровных суглинков европейской части России // V Межвузовская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле». РГГРУ. М.:2010. С. 168.
9. *Чжан Цзе*. Влияние циклического промерзания-оттаивания на изменение моренных суглинков // V Межвузовская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле». РГГРУ. М.:2010. С. 169.
10. *Чжан Цзе*. Актуальные вопросы происхождения покровных суглинков европейской части России // Международной научной конференции «Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии». МГУ. М.: 2010.
11. *Чжан Цзе*. Гипотеза формирования лессовидных грунтов в умеренных климатических условиях // Международной научной конференции «Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии». МГУ. М.: 2010.
12. *ZHANG Ze*. Properties and characteristics of the moraine-outwash in the Zvenigorod of the Moscow. Journal of glaciology and geocryology, 2008, V.30, N.4, P.652-658.
13. *ZHANG Ze, CHEN Huie, CAO Zhongxing, ZHANG Guozhu*. Compositions and engineering characteristics of the man-caused soils in southwestern Moscow // Journal of Jilin University: Earth Science Edition. 2010. N4. (сдано в печать).

* Примечание: статьи, номер которых отмечены «*», опубликованы в журналах рекомендуемых ВАК.