САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Мухаметдинов Олег Владимирович

Липкость (адгезионная прилипаемость) морских органо-минеральных грунтов.

Выпускная квалификационная работа бакалавра

Научный руководитель

старший преподаватель
М.А. Лаздовская

Санкт-Петербург

2016 г

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение……………………………………………………………………………………3

ГЛАВА 1 Литературный обзор………..…………………………….………………5-10

ГЛАВА 2 Природа физико-механических свойств глинистых грунтов.....11-12

ГЛАВА 3 Микроструктуры глинистых пород…………………….……………13-15

ГЛАВА 4 Типы контактов глинистых пород ..………………………………….16-17

ГЛАВА 5 Виды влажности в грунте .…………………………………………….18-20

ГЛАВА 6 Рентгеноструктурный анализ ...……………………………………….21-24

ГЛАВА 7 Определение липкости для мономинеральных образцов ...…….25-27

ГЛАВА 8 Зависимость величины прилипания от других физических характеристик..……………………………………………………………………….28-30

ГЛАВА 9 Методика определения липкости дисперсных глинистых связных грунтов ………………………………………………………………………………….31-33

Заключение………………………………………………………………………................34

Литература………………………………………………………………………………….35.

Введение

Автор благодарит научного руководителя старшего преподавателя кафедры грунтоведения и инженерной геологии Института наук о Земле Лаздовскую Марину Артуровну, начальника геологической группы отдела инженерных изысканий ОАО «ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ» Соколову Юлию Юрьевну за представленную базу данных по определению липкости морских органо-минеральных грунтов шельфа регионов России.

Доцента каф почвоведения и экологии почв к.б.н. Романова Олега Васильевича за возможность проведения экспериментов по определению липкости на приборе В.В.Охотина и к.г.-м.н. Платонову Наталью Владимировну за помощь в проведении рентгеноструктурного анализа.

Под липкостью (прилипаемостью) грунтов понимают их способность при определенном содержании воды прилипать к поверхности различных предметов.

Количественной характеристикой липкости грунтов является усилие (в граммах на квадратный сантиметр), требующееся для отрыва прилипшего предмета от грунта при различных его влажностях. Наиболее важные ее показатели – это влажность начального прилипания, влажность максимального прилипания и максимальное значение липкости.

Максимальная липкость достигается у разных грунтов при различной влажности. Величина липкости и характерные значения влажности определяются гранулометрическим и минералогическим составом грунта, составом обменных катионов, состоянием грунта (его влажностью, плотностью, структурой и др.), материалом, из которого состоит прилипающий предмет, характером его поверхности, величиной нагрузки, прижимающей этот предмет к грунту, и рядом других факторов. ( Сергеев Е. М. Грунтоведение, 1983г.)

Необходимо отметить, что до 2011 г понятие липкости грунта не было никак регламентировано руководящими строительными нормами и правилами. По сути, липкость грунта определялась исключительно по специальному техническому заданию на производство лабораторных испытаний грунтов, и проводились, как правило, для морских гидротехнических работ.

В связи с поступательным развитым грунтоведения, а также существенным расширением географии осваиваемых территорий под промышленное и гражданское строительство, и значительным объёмом проектирования инженерных сооружений в барьерной зоне «берег-море» (морские порты, причальные стенки, терминалы для сжиженного газа) термин «липкость грунта» все больше применялся для правильного планирования земляных работ в практических целях.

В базовом нормативном документе, регламентирующим номенклатуру грунтов при проведении лабораторных испытаний для строительства*,* ГОСТ 2500-11 «Грунты. Классификация» впервые введено определение липкости как физического свойства грунта:

Липкость (прилипаемость, предел адгезионной прочности глинистых грунтов) – способность грунта прилипать к различным материалам при соприкосновении (п. 3.17).

В этот документ также включена частная инженерно-геологическая классификация грунтов по липкости:

Таблица 1. Классификация грунтов по липкости (ГОСТ 2500-11 «Грунты. Классификация»)

|  |  |
| --- | --- |
| Разновидность грунтов | Липкость (прилипаемость) ***L***, кПа |
| НеприлипаемыеСлабоприлипаемыеСреднеприлипаемыеСильноприлипаемые | *L* ≤ 55 < *L* ≤ 1010 < *L* ≤ 25*L* >25 |

В общем виде липкостью называется способность грунтов удерживаться на поверхности твёрдых тел (дерево, металлы, резину и др). Липкость грунтов – важнейший физико-химический и технологический показатель, влияющий, в первую очередь, на проходку и выемку водонасыщенных глинистых грунтов (строительство котлованов промышленных и гражданских зданий и сооружений), траншейные работы при прокладке инженерных сетей. Особое значение он имеет для гидротехнического и портового строительства, а также для исследования грунтов при строительстве мостовых переходов и трубопроводов через реки.

Цель данной работы состояла в изучении липкости органо-минеральных грунтов как свойства важного с практической точки зрения, ее природы, взаимосвязи с другими характеристиками грунтов, а также отработки методики ее определения в лабораторных условиях.

Для этого были поставлены следующие задачи:

1. изучить специальную литературу по исследованию липкости грунтов, а также методики ее определения разными учеными.
2. рассмотреть теоретические аспекты природы физико-механических свойств глинистых грунтов;
3. определить величину липкости для мономинеральных фракций основных глинистых минералов для выявления ее зависимости от минералогического состава грунта;
4. обработать базу данных по липкости органо-минеральных грунтов с целью установления взаимосвязи между прилипаемостью и другими их свойствами

В качестве исходных материалов для лабораторных исследований липкости грунтов были взяты три мономинеральных образца глинистых грунтов (гидрослюда, монтмориллонит, каолинит).

Кроме того для анализа зависимостей липкости от минерального, гранулометрического составов и основных физико-химических свойств грунтов, была привлечена и проанализирована база данных по морским грунтам регионов шельфа России (Балтийское, Баренцево, Белое, Азовское и Чёрное моря) в количестве 350 образцов.

Глава 1. Литературный обзор

В области грунтоведения одним из первых ученых, который стал анализировать физико-механические свойства органо-минеральных грунтов, следует считать Вениамина Васильевича Охотина. В обобщающих работах по грунтоведению он подробно рассмотрел состав, строение и свойства грунтов, а также факторы, влияющие на их формирование

Качественно новый этап в изучении глинистых грунтов связан с работами Е.М.Сергеева и В.И. Осипова. В.И. Осипов открыл кристаллохимические закономерности гидрофильности глинистых минералов, рассмотрел микростроение глинистых осадков и глин, различного генезиса и степени литификации. Основным итогом данной работы явилась инженерно-геологическая классификация глинистых пород по характеру структурных связей. Исходя из типа контактов между структурными элементами, все глинистые образования В.И. Осипов подразделил на 6 групп:

1. породы с дальними коагуляционными контактами (современные илы, глины и суглинки слабой степени уплотнения, скрыто-текучей консистенции);
2. породы с ближними коагуляционными контактами (глины и суглинки слабой и средней степени уплотнения, мягкопластичные и пластичные?);
3. породы с переходными контактами (глины и суглинки высокой степени уплотнения, полутвердой и твердой консистенции);
4. породы с фазовыми контактами (аргиллиты, сцементированные глины и суглинки твердой консистенции).

Кроме этого, было выделено две смешанные группы, у которых одновременно развиты два типа контактов:

1. коагуляционные и фазовые;
2. переходные и фазовые.

В связи с тем, что образование контакта определённого типа тесно связано со степенью литификации породы и её современным состоянием, выделенные группы характеризовались определённой величиной объёмного веса, влажности и консистенции.

Данное исследование стало принципиально новым этапом в изучении грунтов. Все современные работы в области теоретического и лабораторного грунтоведения в своей основе опираются на выводы и результаты, сделанные В.И. Осиповым.

Революционные исследования грунтов были выполнены проф. В.Н. Соколовым, использовавшим электронную микроскопию для классификации микроструктур глинистых грунтов.

Грунт с определенным типом микростроения должен характеризоваться своим физико-химическим состоянием и набором свойств.

В истории изучения микростроения грунтов можно условно выделить три этапа.

***Первый этап*** начинается с трудов К. Терцаги, который в своих теоретических построениях исходил из трёх возможных типов микростроения грунта:

1. *шаровидное* – присуще всем дисперсным несвязным грунтам – пескам различной крупности;
2. *пластинчато-параллельное*  – характерно для всех видов глин;
3. *шаровидно-пластинчатое* (переходное) - применимо для понимания строения и объяснения свойств супесей и суглинков.

Исходя из этих трёх типов микростроения грунта, К. Терцаги построил достаточно стройную концепцию теоретических основ механики грунтов (поведением грунтового массива под нагрузкой), которая с незначительными дополнениями успешно применяется всеми геотехниками и в настоящее время.

***Второй этап*** связан с широким использованием понятий «строение», «структура» и «микроструктура» грунта в теоретическом грунтоведении для объяснения их физико-механических свойств. К этому периоду относится и активное применение микроскопических методов изучения грунтов.

В.В. Охотин в 1940 г в главе «Морфология грунтов» монографии «Грунтоведение» писал: «Под структурностью грунта разумеется агрегация грунта и взаимное расположение агрегатов. Отдельные частицы грунта часто бывают склеены в более крупные агрегаты. Эти агрегаты называются структурными отдельностями. Между агрегатными отдельностями различают макроагрегатные и микроагрегатные. Под микроагрегатными отдельностями понимают такие отдельности, величина которых ниже того предела, при котором можно установить их комплексность простым глазом или растиранием» и далее «под сложением грунта разумеется взаимное расположение частичек и агрегатов между собой. Частички грунта, а также агрегаты находятся в различном пространственном между собой отношении и образуют полости разной величины и формы».

И.В. Попов отмечал: «Микроструктура является отражением физико-механических условий возникновения и истории развития грунта».

Большое значение для изучения структур глин имели работы П.А. Ребиндера, выделившего два основных типа: коагуляционно-тиксотропные и конденсационно-кристаллизационные, которые контролируются тремя типами контактов между дисперсными частицами – коагуляционными, переходными и фазовыми.

Вполне понятно, что первые модели микростроения грунтов были результатом чисто теоретических построений, хоть и основанных на безупречной научной логике, но все же не подтверждённых натурными экспериментальными данными.

***Третий этап****.* Совершенно новый период в изучении микростроения грунтов начался в середине 60-х гг. ХХ века с применения для их исследования электронного микроскопа. Эти работы связаны с именами Г.Г. Ильинской, В.И. Осипова, В.Н. Соколова. Существенный вклад в типизацию микроструктур внёс А.К. Ларионов,

Г.Г. Ильинская в работе «Об изучении микроструктурных и микротекстурных особенностей глинистых и лёссовых грунтов с помощью электронного микроскопа» определила, что основными видами микроструктур грунтов являются беспорядочная, ориентированная, микроагрегатная, а наиболее распространёнными типами микростроения – пластинчатое, листообразное, чешуйчатое, овальное и игольчатое.

А.К. Ларионов разработал агрегатную теорию строения глинистых грунтов, выделив различные типы первичных и вторичных агрегатов, микро- и макроагрегаты, рассчитав их граничные параметры и размеры пор. А.К. Ларионов выделил четыре класса основных структур: раздельно-зернистую, зернисто-плёночную, агрегативную и слитную. Каждый класс разделялся на четыре подкласса – коагуляционный, кристаллизационный, кристаллизационный водо-нерастворимый и смешанный. Далее по категориям воды, содержащейся в грунте, выделялись типы структур, а по величине пористости – виды структур, а по гранулометрическому составу – разновидности структур.

В.И. Осиповым была предложена классификация микроструктур грунтов по характеру структурных связей.

Для нелитифицированных коагулированных глинистых грунтов были выделены диспергированные и агрегированные микроструктуры. В первом случае, твёрдая компонента грунта разделена между собой гидратными прослойками, а во втором, состоит из агрегатов частиц. Разновидности микроструктур выделяются по характеру упорядоченности с разделением на ориентированные и слабо ориентированные ячеистые микроструктуры.

Прорыв в области исследования грунтов был совершен проф. В.Н. Соколовым, разработавшим с помощью электронной микроскопии грунтоведческую (инженерно-геологическую) классификацию микроструктур глинистых грунтов .

Согласно этой классификации выделяются три класса микроструктур по параметру дисперсности (тонкодисперсная, среднедисперсная и крупнодисперсная). В каждом классе выделяется три подкласса микроструктур по параметрам ориентированности в пространстве: слабоориентированная, среднеориентированная и высокоориентированная. Подклассы делятся на группы по преобладающему типу контактов: коагуляционная, смешанная и кристаллизационно-цементационная. Каждая из них характеризуется определёнными значениями величин прочности индивидуальных контактов. Согласно этому каждому типу микростроения грунта соответствует свое физико-химическое состояние и определённый набор механических характеристик.

Таким образом, по В.Н. Соколову, существуют следующие модели микростроения глинистых пород осадочного происхождения: ячеистая, скелетная, матричная, турбулентная, ламинарная, доменная, псевдоглобулярная и губчатая (более подробно микроструктуры рассмотрены в главе…).

На сегодняшний день это наиболее полная классификация микроструктур глинистых грунтов, которая получила мировое признание и используется всеми исследователями в своих теоретических построениях. Разработка классификации микроструктур глинистых грунтов – важнейший вклад в теоретическое грунтоведение второй половины ХХ века.

В истории изучения липкости грунтов также можно выделить несколько этапов.

Первые представления о липкости почв и грунтов сформировались к концу 19-го – началу 20-го века (Р. Габерланд, В. Шоблер, А Аттерберг, К. Терцаги и др.). Вышеназванные исследователи выдвинули два важных положения о том, что липкостью могут обладать лишь пластичные грунты и что липкость грунтов и почв следует рассматривать как функцию их сцепления.

Второй этап в изучении природы липкости грунтов (начиная с 30-х годов 20-го столетия до настоящего времени) ознаменовался серией исследовательских работ советских и зарубежных ученых, среди которых наиболее весомый вклад внесли Т. Каллей, Р. Браун, И. Рессель, Н.Н. Иванов, Н.А. Качинский, В.В. Охотин, М.И. Филатов, Н.А., П.Ф. Мельников, Н.А. Кротова, Е.М. Сергеев, А.А.Свертилов и др. Был накоплен значительный материал, позволивший выдвинуть ряд предположений о природе липкости грунтов и нашедший наиболее полное отражение в гипотезе Е.М. Сергеева, учитывающей энергетическую неоднородность жидкой фазы влажных грунтов и объясняющей их липкость силами молекулярного притяжения. По мнению Е.М. Сергеева, наличие категории рыхлосвязанной воды в грунтах является решающим фактором в проявлении их липкости (Калачев В. Я. Липкость глинистых грунтов).

В это же время были разработаны приборы для определения липкости. Первый из них, выпускающийся с незначительной модификацией до настоящего времени, предложил Охотин В.В., который опытным путем доказал, что для грунтов со значительным содержанием глинистых частиц (более 60%) большее влияние на величину прилипания оказывает минералогический, а не гранулометрический состав.

В последующие годы прибор для определения липкости и свою методику создал Н.А. Качинский. Он давал следующее определение липкости: липкость — это способность почвы прилипать к различным поверхностям. Она увеличивает тяговое сопротивление почвообрабатывающих машин и орудий, ухудшает качество обработки почвы. Величина липкости определяется силой, необходимой для того, чтобы оторвать почву от поверхности прилипания.

Липкость измеряют в г/см2. Она проявляется при увлажнении почвы, приближающейся к верхнему пределу пластичности. Величина липкости зависит от гранулометрического состава, степени дисперсности, состава поглощенных катионов, структуры, влажности почвы. Высокогумусированные почвы даже при повышенном увлажнении не липкие. С повышением дисперсности почвы, ухудшением структуры, утяжелением гранулометрического состава липкость почв увеличивается. По величине липкости Н. А. Качинский разделил почвы на 5 категорий: предельная - при липкости > 15 г/см2, сильновязкая - 5-15, средневязкая -2-5, слабовязкая - 0,5-2, рассыпчатая - 0,1-0,5 г/см2.

Позже Калачев В.Я. установил, что липкость глинистых грунтов определяется не только содержанием в них рыхлосвязанной, но и капиллярной воды. Также он выявил некоторые закономерности между липкостью и другими свойствами глинистых грунтов. Калачевым В.Я был сконструирован прибор и разработана методика для определения липкости. Все методики основаны на определении величины усилия, которое необходимо приложить для отрыва плоскости испытуемого грунта от поверхности заданного материала. Различия заключаются в принципе измерения (дробь, гири, электромагнит) отрывающего усилия и соответствующих технических особенностях конструкции прибора (габариты, вес).

Все приборы для определения липкости конструктивно несовершенны, данные получаемые с их помощью, несопоставимы. Для решения практических вопросов при инженерно-геологических исследованиях наиболее широко применяется прибор Охотина, поскольку на приборе Качинского можно измерить лишь небольшую лип­кость грунтов, в то время как автотранспорт и землеройные машины оказывают большее давление на грунт. Для научно-исследовательских работ также используется прибор Качинского: он более точный, компактный, позволяет определять липкость грунтов как с нарушенной структурой, так и при ненарушенном сложении и естественной влажности. Прибор Калачева также применяется для научно-исследовательских работ, так как он учитывает величину прижимающей нагрузки штампа к грунту.

Глава 2. Природа физико-механических свойств глинистых грунтов

Свойства глинистых пород определяются множеством факторов: кристаллохимическими особенностями глинистых минералов, микроструктурой глинистых пород, типами контактов, высокой дисперсностью частиц.

Типичным примером особенного кристаллохимического строения могут служить такие минералы как монтмориллонит. При гидратации молекулы воды могут входить в промежутки между элементарными слоями структуры (чем обусловлено такое свойство как набухание). Также глинистые минералы обладают также высокой способностью к ионному обмену. Отмеченные особенности глинистых минералов вместе с их высокой дисперсностью обуславливают очень большую адсорбционную способность.

Кроме того важным является то, что, находясь в воде, глинистые частицы гидратируются, то есть при взаимодействии с водой вокруг частиц глинистых минералов образуются тонкие пленки воды, также оказывающие большое влияние на свойства глинистых грунтов.

Следует отметить, что особенное кристаллохимическое строение и специфическое взаимодействие глинистых частиц с водой обуславливают такие свойства как пластичность, набухание при обводнении, усадка при высушивании. С этими свойствами связаны аномальные прочностные и деформационные характеристики глинистых пород (разжижение при динамическом воздействии, резкое падение прочности при увлажнении).

Вместе с кристаллохимическими особенностями глинистых пород другим важным фактором, определяющим свойства глинистых пород, является их микроструктура.

После проведенного анализа грунтоведческой классификации микроструктур глинистых грунтов можно сделать два важнейших вывода. Во-первых, построение классификации способствовало выявлению прямой зависимости между типом микростроения грунта, с одной стороны, и физико-механическими свойствами, с другой. Во-вторых, определённый тип микростроения грунта является результатом историко-геологического (генетического) периода его существования, т. е. всего того, что принято считать генезисом грунта и итогом последующих постгенетических процессов, в нем протекающих.

Под микроструктурой понимается размер и форма глинистых частиц, их взаимная ориентация и характер взаимодействий. Микроструктура глинистых пород очень чувствительна к изменению условий накопления минерального осадка и его последующих геологических преобразований. В микроструктуре за счет специфического сочетания морфометрических, геометрических и энергетических признаков заложена информация о прочности и деформационном поведении породы. Таким образом, определяя соответствующие микроструктурные параметры можно предсказать многие свойства глинистых пород, а также дать прогноз их изменения при различных воздействиях. (Соколов В.Н, Микромир глинистых пород, 1996 г.).

Глава 3. Микроструктуры глинистых пород

Основополагающим моментом в рассмотрении формирования состава, строения и физико-химических свойств морских органо-минеральных грунтов является выяснение вида их структурных связей и, соответственно, типа микростроения.

Структура грунта – важнейший признак его строения, принципиальный момент для понимания физико-механических характеристик, который в концентрированном виде отражает все основные свойства грунта.

Для глинистых пород осадочного происхождения и различного возраста выделено пять основных микроструктур.

1. *Ячеистая микроструктура.*

Образуется крупными уплощенными микроагрегатами, контактирующими между собой с образованием изометричных межагрегатных пор размером 2-12 мкм. Наличие равномерно распределенных крупных ячеистых пор придает структуре отчетливый ячеистый вид.

Микроагрегаты, слагающие стенки ячеек в местах контактов, как правило, срастаются. Межультрамикроагрегатные поры щелевидной формы размером приблизительно 0,3 мкм. Ячеистая микроструктура характерна для молодых осадков главным образом монтмориллонитово-гидрослюдистого состава. Породы такой микроструктуры отличаются высокой общей пористостью до 80% и влажностью в пределах 55- 300%, скрытотекучей консистенцией, высокой сжимаемостью, ярко выраженной тиксотропией.

1. *Скелетная или зернистая микроструктура.*

Микроструктура сложена в основном зернами первичных минералов, формирующих однородный минеральный скелет. Глинистый материал распределен неравномерно, обычно он накапливается на поверхности зерен или на контактах песчаных и пылеватых частиц, создавая, таким образом, глинистые связки между ними. Благодаря равномерному распределению зерен первичных минералов скелетная микроструктура выглядит изотропной, равномерно пористой с преобладанием изометричных, межзернистых, щелевидных и клиновидных межультрамикроагрегатных пор, их размер которых определяется размером зерен. Общая пористость составляет 40-60%.

Скелетную микроструктуру имеют отложения различного минерального состава, содержащие большое количество пылеватых частиц и относительно небольшое количество глинистых частиц. Для этой структуры характерны высокая сжимаемость и низкая динамическая устойчивость.

1. *Матричная микроструктура*

Данная микроструктура характеризуется наличием сплошной неориентированной глинистой массы, в которой содержатся беспорядочно расположенные, не контактирующие между собой песчаные и пылеватые зерна. Глинистое вещество агрегировано и находится в виде ультрамикроагрегатов и микроагрегатов. Общая пористость микроструктуры 30-50%. Форма пор меняется от анизометричных, ширина которых достигает 1мкм, до изометричных, шириной до нескольких микрометров.

Матричная микроструктура чаще всего встречается у пород гидрослюдистого и смешанослойного состава, содержащих не менее 15% глинистых частиц и имеющих слабую или среднюю степень уплотнения. Породы обладают пластичной, реже полутвердой консистенцией, средней сжимаемостью.

1. *Турбулентная микроструктура*

Данная микроструктура образуется анизометричными уплотнёнными микроагрегатами, ориентированными по напластованию. Микроагрегаты обтекают песчаные и пылеватые зерна, создавая локальные «завихрения», что придает структуре вид застывшего турбулентного потока. Поровое пространство представлено межультрамикроагрегатными и межмикроагрегатными порами, вытянутыми по напластованию и имеющими ярко выраженную щелевидную форму. Ширина пор изменяется от долей до нескольких микрометров. Общая пористость 30-50%.

Породы турбулентной микроструктуры наиболее часто встречаются среди пород различного минерального состава, имеющих среднюю или высокую степень уплотнения, для которых наряду со значительным содержанием глинистых частиц также характерно содержание крупной пыли и мелкого песка. Такие породы обладают полутвердой и твердой консистенцией, средней и слабой сжимаемостью.

1. *Ламинарная микроструктура*

Данная структура отличается хорошей сортировкой структурных элементов по размеру и высокой их степенью ориентации по напластованию, что придает ей вид ламинарного потока. Глинистое вещество распространено равномерно, слабо агрегировано, границы между микроагрегатами отсутствуют. Первичные зерна очень редки и рассеяны в породе. Поровое пространство довольно однородно и представлено межультрамикроагрегатными и межмикроагрегатными порами щелевидной и клиновидной формы, вытянутыми по напластованию. Величина общей пористости варьируется в широких пределах от 5% до 50%.

Ламинарная микроструктура характерна для пород различного минерального состава с высоким содержанием глинистых частиц. Степень уплотнения пород изменяется от средней до высокой, консистенция – от пластичной до твердой. (Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцев Н.А., Микроструктура глинистых пород 1989 г.)

Глава 4. Типы контактов глинистых пород

Большое влияние на свойства глинистых пород оказывает характер контактных взаимодействий.

В природных глинистых образованиях часто преобладает один из типов контактов. Однако нередко встречаются разности глинистых пород, у которых одновременно развиты два типа контактов. Закономерности поведения таких пород наиболее сложны и могут быть объяснены особенностями обоих типов контактов, присутствующих в породе.

С позиции энергии сил взаимодействия на контакте в глинистых породах, можно выделить следующие типы контактов.

1. *Коагуляционные контакты*

 Преобладают в молодых глинистых осадках и слабоуплотненных глинах. Они характеризуются наличием в зоне контакта тонкой равновесной пленки связной воды. Существуют две разновидности коагуляционного контакта: ближний коагуляционный контакт и дальний, различающиеся толщиной равновесной гидратной пленки в контактном зазоре. Притяжение частиц на коагуляционном контакте обусловлено дальнодействующими молекулярными, магнитными и дипольными взаимодействиями.

Важной особенностью коагуляционных контактов является обратимый характер их разрушения. С этим связано явление тиксотропии в молодых глинистых образованиях.

Как было сказано выше, различают два типа данного контакта, ближний и дальний. К первой группе относятся современные илы, молодые суглинки и глины со значительным содержанием органики. Во вторую группу входят глины и суглинки различного возраста, как правило, слабой степени уплотнения.

Для грунтов с дальним типом коагуляционных контактов характерны высокая пористость и водосодержание, очень высокая сжимаемость и способность разжижаться при динамическом воздействии.

Грунты с ближним типом коагуляционных контактов обладают меньшей пористостью и влажностью, высокой и средней сжимаемостью, малой величиной набухания.

1. *Переходные контакты*

 Распространены у водонасыщенных пород средней и высокой степени уплотнения, а также у не полностью водонасыщенных глин. Они характеризуются наличием небольшого по площади соприкосновения между взаимодействующими элементами и образованием между ними относительно прочной связи за счет действия химических и ионно-электростатических сил. Характерной особенностью таких контактов является способность гидратироваться и переходить в коагуляционные контакты при увлажнении породы или снятии с нее внешней нагрузки.

К грунтам с переходным типом контактов относятся тонкодисперсные образования - глины и суглинки средней и высокой степени уплотнения. Кроме того, к ним относится лёссы и лёссовидные образования, имеющие неполное водонасыщение, твердую и полутвердую консистенцию.

Для грунтов с переходным типом контактов характерны изменение в широких пределах плотности, влажности и пористости, слабая сжимаемость, а также достаточно высокие прочностные показатели. Глинистые грунты с переходными типами контактов проявляют сильное набухание при взаимодействии с водой, а лёсс и лёссовидные образования, наоборот, при взаимодействии с водой дают просадку.

1. *Фазовые контакты*

Данный тип контактов развит у сильноуплотненных сцементированных глин, аргиллитов и алевролитов. Он характеризуется наличием непосредственного соприкосновения между структурными элементами на значительной контактной площади или развитием на контакте новой фазы, цементирующей частицы. Первый тип контактов называется кристаллизационным, а второй цементационным. На фазовые контакты действуют химические и ионно-электростатические силы, поэтому эти контакты имеют значительную прочность. Фазовые контакты являются необратимыми по отношению к воде, породы с такими контактами не теряют прочность и не пластифицируются при увлажнении.

Грунты с кристаллизационными и цементационными типами контактов обладают низкой и средней пористостью, высокой плотностью, низкой сжимаемостью, не набухают. (Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцев Н.А., Микроструктура глинистых пород 1989 г.).

Глава 5. Виды влажности в грунте

Вода в грунтах находится в различных фазовых состояниях: твердом, жидком, газообразном. Все количество воды, содержащееся в породе в естественных условиях, называется естественной влажностью (We). Она может быть выражена по отношению к весу породы (весовая) или по отношению к объему породы (объемная). Ниже будет рассмотрена только вода в жидком или переходном состоянии.

Состояние воды в грунте зависит от ее связи с твердой компонентой, на основе чего воду делят на свободную (гравитационную) и связанную.

Связная вода образуется на поверхности твердых частиц и оказывает сильное влияние на контактные взаимодействия между отдельными элементами твердой части грунта. По этой причине наличие разных видов связной воды в грунтах в значительной степени сказывается на их свойствах. Механизмы образования связной воды различны. Связную воду делят на прочносвязную, которая образуется благодаря процессам физической адсорбции, и слабосвязную, образованную за счет капиллярной конденсации и осмотических явлений. Следовательно, слабосвязную воду также делят на капиллярную и осм**о**тическую.

*Прочносвязанная вода*

Слои воды, образующиеся непосредственно на поверхности частиц в результате процессов адсорбции молекул воды из паров, получили название прочносвязанной или гигроскопической. Содержание такой воды в грунте измеряется гигроскопической влажностью (Wg).

Выделяют две разновидности прочносвязанной воды, отличающиеся по своей энергии связи с поверхностью минерала: вода островной адсорбциии и вода полислойной адсорбции.

Вода островной адсорбции адсорбируется наиболее активными адсорбционными центрами поверхности. Вода островной адсорбции образуется при относительной влажности воздуха 20-30%. Возникновение сплошной пленки связанной воды начинается с появлением второй разновидности прочносвяанной воды – воды полислойной адсорбции. Её образование идет при относительной влажности в интервале 30-90%. Вода полислойной адсорбции удерживается на поверхности минералов за счет сил молекулярного взаимодействия «дальнего» порядка, поэтому энергия ее связи с частицами ниже по сравнению с водой островной адсорбции.

Максимальное содержание прочносвязанной воды в грунте достигается при относительной влажности воздуха 90%. Общее количество прочносвязанной воды, образующейся в грунте при относительной влажности 90%, характеризуется максимальной гигроскопической влажностью грунта (Wmg).

*Слабосвязанная вода*

Как уже говорилось выше, слабосвязанная вода делится на два вида в зависимости от механизмов образования - капиллярную и осмотическую. Капиллярная вода удерживается у поверхности минералов силами поверхностного натяжения. Капиллярная вода снизу имеет непосредственную связь с грунтовой водой. Кроме капиллярной воды выделяется также подвешенная капиллярная. Этот последний вид находится в капиллярах и не имеет связи с грунтовыми водами. Подвешенная вода может получиться, например, при просачивании в грунт осадков, не достигших уровня грунтовых вод.

Осмотическиая вода образуется в результате различия в концентрациях ионов, находящихся в поровом растворе и вблизи грунтовых частиц. Выравнивание концентраций приводит к тому, что образуется еще один вид воды, молекулы которого связаны с катионами диффузного слоя ионов и таким образом удерживаются вблизи частиц.

Общее содержание прочносвязанной, капиллярной и части осмотической воды у большинства глинистых грунтов обуславливают их влажность, которая находится в интервале между максимальной гигроскопической и влажностью нижнего предела пластичностью. А.Ф. Лебедев ввел понятие максимальной молекулярной влагоемкости грунтов (Wmmc). Он определил, что при этой влажности в грунтах содержится максимальное количество воды, удерживаемое молекулярными силами.

Свободная вода делится на иммобилизованную и гравитационную. Иммобилизованая находится в закрытых порах и не может двигаться под действием гравитационных сил. Гравитационная вода перемещается под действием гравитационных сил. Максимально возможное содержание в грунте всех видов связанной и гравитационной воды при полном заполнении его пор характеризуется полной влагоемкостью грунта (Wo). (Сергеев Е. М. Грунтоведение 1983 г.).

Также стоит упомянуть еще о нескольких показателях влажности.

Влажность верхнего предела пластичности(WL) представляет собой граничное значение влажности, при превышении значения которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее. Влажность нижнего предела пластичности(Wp) граничное значение влажности грунта между полутвердым и пластичным состоянием, также характеризует минимальную влажность, при которой частицы способны перемещаться относительно друг друга без нарушения сплошности грунта.

Вода в грунтах очень сильно влияет на многие их характеристики и свойства грунтов, поэтому ее важно учитывать при любых исследованиях.

Глава 6. Рентгеноструктурный анализ

Для определения точного минералогического состава трёх глинистых образцов был проведен рентгеноструктурный анализ. Рентгеноструктурный анализ был проведен методом порошковой дифракции. Сам рентгеноструктурный анализ проводился в дифрактометрах. Принцип действия прибора основан на пропускании через атомную решетку минералов рентгеновского излучения, фиксация его отражения. Потом по формуле $λ=2dsinΘ$**,** где λ - длина волны излучаемой в приборе, d - межплоскостное расстояние, Θ - угол отражения волн от атомных плоскостей, находится межплоскостное расстояние между атомными плоскостями минералов, и по данным кристаллохимического строения определяется минерал, находящийся в образце.

*Методика проведения*

Предварительно перед опытом была произведена подготовка образцов. Каждый образец распылялся на стекло, для каждого минерального образца изготавливалось два образца для рентгеноструктурного анализа. При проведении пробоподготовки образцы предварительно просеивали через сито 0,1 мм и отмучивали для отбора фракции не крупнее 100 микрон, так как она наиболее полно отражает кристаллохимические особенности глинистых минералов. Далее выполнялся сам анализ в дифрактометре. Для каждого минерального образца съемка проводилась в трех состояниях: в воздушно-сухом, при добавлении этиленгликоля и при прокаливании при температуре 5500С. Этиленгликоль добавляется в образцы для диагностики некоторых глинистых минералов, например, монтмориллонита; молекула этиленгликоля имеет большой размер и, входя в межмолекулярное пространство кристаллической решетки монтмориллонита, увеличивает межплоскостное расстояние, что отражается на графике. Прокаливание образцов также производится для диагностики глинистых минералов, например каолинита. Кристаллическая структура каолинита разрушается при температуре 5500С, соответственно на графике при прокаливании исчезнет пик каолинита. При проведении опыта фиксировались углы отражения 2 Θ и интенсивности дифракционных максимумов.

В результате проведённого опыта для каждого минерального образца были получены: табличная база данных углов 2 Θ и интенсивности дифракционных максимумов, а также три графика зависимости угла отражения и интенсивности дифракционных максимумов (для каждого состояния грунта).

Первый образец - каолинит. Его точный минералогический состав был подтвержден и рентгеноструктурным анализом (рис. 1).



Рисунок 1. График зависимости угла отражения и интенсивности дифракционных максимумов для образца каолинита.

На данном графике выделяются два четко выраженных дифракционных максимума (7,1-7,2 А0), которые соответствуют каолиниту. На графике в правой части наблюдается еще один пик с углом 2Θ, равным 340 и интенсивностью 3,03 А0, который соответствует кальциту. Следовательно, по результатам рентгеноструктурного анализа для данного образца можно сделать вывод, что он является практически мономинеральным, хотя и содержит в себе небольшое количество кальцита.

По следующему образцу гидрослюды были получены следующие результаты (рис. 2).



Рисунок 1. График зависимости угла отражения и интенсивности дифракционных максимумов для образца гидрослюды.

На графике видны от 2 до 4 дифракционных максимумов интенсивностью, примерно 10А0, предположительно эти пики являются гидрослюдистым минералом. На графиках выделяются дифракционные максимумы, соответствующие кварцу, кальциту, хлориту. По данному образцу можно сделать вывод, что он в достаточной мере является мономинеральным образцом, хотя и содержит достаточно примесей не глинистых минералов, таких как кварц и кальцит. Эти примеси несущественно могут повлиять на результаты определения липкости.

Последний третий образец был представлен монтмориллонитом.

В ходе рентгеноструктурного анализа также был получен график зависимости интенсивности дифракционных максимумов и углов отражения 2 Θ (рис. 3)



Рисунок 1. График зависимости угла отражения и интенсивности дифракционных максимумов для образца монтмориллонита.

На данном графике самый первый дифракционный максимум интенсивностью 13,8-14 А0 отвечает монтморилониту. Кроме того наблюдается еще около 4 максимумов, которые отвечают монтмориллониту. Однако, несмотря на это, в образце есть и много других минералов. Каолинит интенсивностью 7А, слюда (мусковит) интенсивностью 10А, кварц интенсивностью 4А. По результатам рентгеноструктурного анализа данного образца было выявлено, что он содержит большое количество примесей. Это могло сильно повлиять на результаты определения липкости.

В ходе опытов были определены точные минералогические составы для трех образцов: два образца можно считать мономинеральными, а третий образец содержит в себе достаточно большое количество примесей.

Глава 7. Определение липкости для мономинеральных образцов

Для определения зависимости величины максимального прилипания от минералогического состава были проведены опыты по определению липкости на мономинеральных фракциях.

Для опыта отобрали три мономинеральных образца основных глинистых минералов: монтмориллонит, каолинит и гидрослюда. Испытания выполнялись на приборе по определению липкости Охотина В.В (фото 1)..

 

Фото 1. Прибор определения липкости В.В. Охотина

*Проведение испытания*

Непосредственно перед испытанием были определены нижний и верхний пределы пластичности для каждого из трёх образцов грунта. Определение нижнего предела пластичности проводилось методом выкатывания грунта в жгут, а верхнего - с помощью балансирного конуса Васильева.

Далее были произведены испытания по определению липкости для каждого образца грунта на приборе В.В. Охотина.

1. Образец грунта в воздушно-сухом состоянии, увлажнялся до влажности нижнего предела пластичности.
2. Грунт помещался в формочку прибора Охотина так, чтобы поверх формочки образовался избыток грунта. К формочке плотно прижимался штамп.
3. В ведерко на противовесе постепенно добавлялся груз и фиксировался момент отрыва штампа от грунта.
4. Далее груз из ведерка взвешивался. Расчет величины прилипания рассчитывался по формуле:

L = Р/ F, г/см2,

где Р - вес груза, г; F - площадь штампа, см2.

Площадь штампа равна 10 см2

Для каждого значения влажности образца грунта делалось 7 измерений. Для расчета среднего значения величины прилипания для каждой влажности бралось 5 значений, 2 крайних определения (самое большое и самое маленькое значения) из расчетов отбраковывались.

После определения прилипаемости на нижнем пределе пластичности для каждого типа грунта, подобные определения выполнялись для верхнего предела пластичности и для центрального значения влажности между верхним и нижним пределами пластичности.

Еще два значения влажности для определения липкости каждого типа грунта были рассчитаны методом последовательных приближений. В сумме для каждого типа грунта получилось по 3 определений липкости для определённого значения влажности, лежащих между верхним и нижним пределами пластичности.

*Результаты испытаний.*

В результате проведенных опытов были получены значения липкости для 5 значений влажности для каждого типа грунта, а также построены графики зависимости величины прилипания от влажности.

Результаты испытаний представлены на рисунке 4 и в таблице 1.

Рисунок 4. График зависимости величины прилипания (L) от влажности (W) для трех мономинеральных образцов

Таблица 1. Зависимость величины максимального прилипания и влажности максимального прилипания для трех мономинеральных образцов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Образец | Величина максимального прилипания,L КПа | Влажность максимального прилипания, % |
| Каолинитовая глина | 5 | 30 |
| Монтмориллонитовая глина | 4,8 | 36 |
| Гидрослюдистая глина | 2 | 20 |

Наибольшее значение величины максимального прилипания наблюдалась у каолинита 5 КПа, при влажности максимального прилипания 30%. Наименьшая величина максимального прилипания наблюдалось у образца гидрослюды - 2 КПа, при влажности максимального прилипания 20%.

Было выполнено сравнение результатов данного исследования с результатами, полученными Калачевым В.Я. и опубликованными в его диссертации для образцов каолинита и монтмориллонита. Для образца каолинита данные практически совпали. Для образца монтмориллонита получилась очень низкая максимальная величина прилипания и влажность максимального прилипания. Это может быть объяснено данными рентгеноструктурного анализа, по результатам которого было выявлено наличие большого количества примесей в образце монтмориллонита. Возможно, именно это стало причиной низкого значения величины максимального прилипания.

Глава 8. Зависимость величины прилипания от других физических характеристик.

Для нахождения зависимости между липкостью и другими физическими характеристиками грунтов была использована база данных по определению липкости для морских грунтов регионов шельфа России (Балтийское, Баренцево, Белое, Азовское и Чёрное моря) в количестве 350 образцов.

 Для каждого образца в базе данных была определена величина максимального прилипания, влажность максимального прилипания и основные физические характеристики.

Изначально все образцы были разбиты на группы по типам грунта по гранулометрическому составу на илы, суглинки, супеси и глины. Далее все образцы илов разбивались по числу пластичности на суглинистые, глинистые и супесчаные.

После этого были построены графики зависимости между максимальной величиной прилипания и основными физическими характеристиками.

1. Естественная влажность (We).
2. Влажности верхнего и нижнего пределов пластичности (Wp, Wl), а также число пластичности.
3. Содержание органического вещества (потеря при прокаливании).
4. Влажность максимального прилипания

В результате построения графиков для глинистых илов были прослежены зависимости между величиной прилипания и такими физическими характеристиками как: влажность верхнего и нижнего пределов пластичности, числа пластичности и влажности максимального прилипания. Для естественной влажности, потери при прокаливании и числа пластичности явные зависимости по графикам не просматривались. Результаты исследований представлены на рис. 5-7.

Рисунок 5. График зависимости липкости и нижнего предела пластичности для глинистых илов

Рисунок 6. График зависимости липкости и верхнего предела пластичности для глинистых илов

Рисунок 7. График зависимости липкости и влажности максимального прилипания для глинистых илов

Для супесчаных илов построение зависимостей было невозможно из-за малого количества образцов. Для суглинистых илов ярко выраженных зависимостей зафиксировано не было.

В результате данной работы были выявлены зависимости величины максимального прилипания от верхнего и нижнего предела пластичности и влажности максимального прилипания для глинистых илов. Отсутствие корреляции для остальных видов грунтов требует дальнейшего изучения.

Глава 9. Методика определения липкости дисперсных глинистых связных грунтов

Для определения липкости грунтов в настоящее время применяются приборы В. В. Охотина, Н. А. Качинского и Калачева В. Я..

Необходимо отметить, что все указанные приборы, действующие по одному принципу, конструктивно несовершенны. Данные, получаемые с их помощью, обычно несопоставимы. В связи с этим, приводя данные о липкости грунтов, нужно обязательно указывать прибор, на котором она определялась.

Различие между всеми тремя приборами заключается в принципе измерения (дробь, гири, электромагнит). Для решения практических вопросов при инженерно-геологических исследованиях наиболее широко применяется прибор Охотина, поскольку на приборе Качинского можно измерить лишь небольшую величину липкости грунтов (до 15 г/см2). Прибор Калачева УИЛ-2 учитывает величину прижимающей нагрузки, но не выпускается массово и редко имеется в грунтовых лабораториях.

Учитывая изложенное выше для составления методики определения липкости грунтов был использован прибор Охотина, так как его аналоги до сих пор массово выпускаются, и он повсеместно используется в грунтовых испытательных лабораториях при проведении инженерно-геологических изысканий. (рис. 8).



Рисунок 8. Схема прибора Охотина

1 – основание, 2 – стойка, 3 – форма для грунта, 4 – полозья для формы, 5 –блок, 6 – воронка, 7 – ведёрко для груза, 8 – штамп с противовесом для уравновешивания формы для грунта и ведёрка, 9 – струна.

**Определение липкости грунтов на приборе Охотина**

***Описание прибора.*** Прибор представляет собой доску, на которой установлена металлическая рама из двух стоек с перекладиной и формочка для грунта, укрепленная при помощи полозков. На раме смонтированы блок и воронка для дроби. Через блок перекинута струна (или нить), на одном конце которой подвешивают ведерко для дроби, а на другом – штамп площадью 10 см2 с противовесом для уравновешивания штампа и ведерка.

**Порядок испытания**

1. Воздушно-сухую пробу грунта растереть и просеять через сито 1 мм. Из прошедшей через сито части грунта взять навеску 100 г и увлажнить ее в фарфоровой чашке примерно до влажности нижнего предела пластичности.
2. Форму 3 с подготовленным образцом грунта и зафиксированным к нему штампом установить на основание прибора
3. К штампу присоединить струну прибора с подвешенной через блок чашкой для груза.
4. Через воронку 6 мелкими порциями подсыпать дробь в ведёрко 7, наблюдая за штампом.
5. Как только штамп оторвётся от грунта, подачу дроби прекратить.
6. Взвесить груз в чашке и определить влажность грунта.
7. Следует повторять испытания увеличивая (или уменьшая) влажность до тех пор, пока отрывающее усилие не достигнет максимума и два-три последующих за этим измерения не укажут на его уменьшение.
8. Величину липкости грунтов, в г/см2 (кПа), вычисляют по формуле:
9. *L* =,
10. где L – липкость, кПа;
11. P – вес дроби, г; это масса
12. F – площадь штампа, см2.
13. В качестве окончательного значения липкости при определённой влажности принимают среднеарифметическое значение двух определений.
14. На основании полученных среднеарифметических значений построить график зависимости липкости грунта от влажности.

Заключение

В ходе написания данной работы были произведены следующие исследования

1. Выявлены зависимости величины прилипания от минералогического состава для трех основных групп глинистых минералов.
2. Установлены зависимости между величиной максимального прилипания и влажностями нижнего и верхнего пределов пластичности на основе базы данных определения липкости морских органо-минеральных грунтов (глинистых илов);
3. На основе известных разработок была актуализирована методика лабораторного определения липкости грунтов на приборе В.В. Охотина.

Литература

1. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.
2. Сергеев Е.М. Грунтоведение. М. Изд-во МГУ, 1983, 392с.
3. Соколов В.Н, Микромир глинистых пород. // Соросовский образовательный журнал, 1996. №3. С 56-64.
4. Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцев Н.А., Микроструктура глинистых пород. М. Недра, 1989, 211с.
5. Калачев В.Я. Липкость глинистых грунтов. Автореферат дисс... геол.-мин. наук. М., МГУ.
6. Охотин В.В. Грунтоведение. 1940. М. ВТА., 200 с.