

ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»
ООО «ГЕОМАРКЕТИНГ»
СРО АССОЦИАЦИЯ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»
НП «СОЮЗ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ»



«ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

Сборник докладов второй Общероссийской
научно-практической конференции
молодых специалистов

27 апреля 2018 г.

г. Москва
2018

ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»

ООО «ГЕОМАРКЕТИНГ»

СРО АССОЦИАЦИЯ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

НП «СОЮЗ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ»

«ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

**Сборник докладов второй Общероссийской
научно-практической конференции
молодых специалистов**

27 апреля 2018 г.

г. Москва
2018

Инженерные изыскания в строительстве (Сборник докладов второй Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов).
М.: Издательство «Геомаркетинг». 2018. – 240 с.

27 апреля 2018 года в ООО «ИГИИС» (г. Москва) совместно с Издательским центром ООО «Геомаркетинг», СРО Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве» («АИИС») и Союзом изыскателей была проведена вторая Общероссийская научно-практическая конференция молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве», материалы которой публикуются в данном сборнике докладов. Статьи представлены аспирантами, магистрантами и студентами высших учебных заведений: геологический и географический факультеты МГУ имени М.В. Ломоносова, Институт гидротехнического и энергетического строительства (ИГЭС) НИУ МГСУ, гидрогеологический факультет РГГРУ-МГРИ им. С. Орджоникидзе, геологический факультет Воронежского государственного университета, геологоразведочный факультет Санкт-Петербургского горного университета, Институт путей сообщения Российской университета транспорта (МИИТ), экологический факультет РУДН, Балашихинский гидрометеорологический техникум и сотрудниками ООО «ИГИИС».

В конференции приняли участие 52 представителя проектно-изыскательских организаций, научно-исследовательских институтов и вузов из 4 городов Российской Федерации: Москва, Балашиха, Воронеж, Санкт-Петербург. Заслушано 39 докладов.

В рамках конференции были проведены конкурсы на «Лучший доклад», победу разделили студент геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Кунафин А.Д. и ведущий специалист ООО «ИГИИС» Скобелев А.Д.; «Приз зрительских симпатий» поделили аспирантка геологоразведочного факультета Санкт-Петербургского горного университета Зайдуллина Л.М. и магистрант Института гидротехнического и энергетического строительства (ИГЭС) НИУ МГСУ Жалнин А.К.

От Издательского центра ООО «Геомаркетинг» призерам были вручены именные Сертификаты на годовую электронную подписку на журналы «Инженерные изыскания», «Инженерная геология», «Геориск», «Геотехника».

Сборник докладов второй Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве» предназначен для широкого круга специалистов в области инженерных изысканий, проектирования, строительства, для студентов и аспирантов профильных вузов.

Редакционная группа: Журавлева Н.А., Висхаджиева К.С.

Нестеров Д.С., Королев В.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии,
г. Москва, dsnesterovmsu@gmail.com

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИ ЭЛЕКТРООСМОТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Введение

Растущие объемы строительства в настоящее время приводят к необходимости освоения территорий со сложными инженерно-геологическими условиями. Так, например, водонасыщенные глинистые грунты представляют собой серьезное препятствие при производстве геотехнических работ. Для осушения слабопроницаемых грунтов часто используется электроосмос, в основе которого лежит передвижение воды под действием электрического поля [2]. Распространенными областями применения электроосмоса являются осушение строительных котлованов и карьеров, электрохимическое закрепление грунтов, а также электрохимическая очистка грунтов от различных токсикантов [5].

При приложении к водонасыщенному глинистому грунту поля постоянного электрического тока в нем возникает комплекс физико-химических, химических и физических процессов. Это приводит к изменению состава, структуры, состояния грунта и его физических, физико-химических, а также физико-механических свойств, меняющихся от анода к катоду [5]. Однако закономерности происходящих преобразований глинистого грунта при электроосмосе в межэлектродном пространстве по-прежнему во многом не изучены. Исследованию особенностей происходящих изменений в этой области и посвящено настоящее исследование.

Объекты и методика исследований

В качестве объектов исследования были использованы распространенные глинистые грунты средней полосы России: покровный мореный суглинок prQ_{III} и глуховецкий каолин eN₁. Суглинок имеет преимущественно кварцевый состав (81%) с относительно высоким содержанием глинистых минералов (12%, преимущественно гидрослюды) и полевых шпатов (7%). Глуховецкий каолин содержит 75% каолинита, 18% кварца, 5% гидрослюды и 2% гипса. По ГОСТ 25100-2011 покровный суглинок представляет собой тяжелый пылеватый суглинок, а каолин является легкой пылеватой глиной [1].

Электроосмотическая обработка проводилась на образцах нарушенного сложения при влажности верхнего предела пластичности W_L (для суглинка $W_L = 25\%$, для каолина $W_L = 50\%$) в однокамерной электроосмотической ячейке открытого типа при силе тока 10 mA, которая поддерживалась постоянной во

времени путем увеличения напряжения [2]. В качестве порового раствора использовался 0,01 н раствор CaCl_2 . Во время опыта жидкость выводилась с катодной стороны ячейки, в результате чего моделировалась ситуация электроосмотического осушения изолированного массива грунта. Испытание завершали при значительном осушении образца и уменьшении силы тока или превышении напряжением 200 В. На суглинке было проведено три испытания, на каолине – один.

После завершения испытания образец извлекали из ячейки и делили на пять частей по длине. Из каждой части брались пробы на влажность, плотность, pH, водную вытяжку и приготовление суспензии. Кроме того, такие же пробы брались из исходной пасты глин. Водная вытяжка готовилась при соотношении «твердая фаза/жидкость» равном 1:10 [4]. Суспензии были приготовлены при соответствующих величинах pH при ионной силе порового раствора 0,03 моль/л и соотношении «твердая фаза /жидкость», равном 1:40. Значения pH в вытяжке контролировались с помощью прибора pH-061, в образце – индикаторной бумагой, солесодержание определяли кондуктометром HM Digital COM-80. Измерения ζ -потенциала частиц и микрогранулометрический анализ проводились на лазерном анализаторе Horiba SZ-100 с пятикратной повторностью для каждой суспензии.

Результаты и их обсуждение

Приложение электрического тока к водонасыщенному глинистому грунту вызывает в нем движение ионов и воды. При этом электромиграция катионов и электроосмотический поток направлены из анодной зоны в катодную. Электроосмотическое воздействие вызывает изменение физических, физико-химических свойств грунта, а также его структуры [5].

В процессе электроосмоса значительно изменяется влажность грунта (табл.). Электроосмотическое воздействие на глинистый грунт вызывает перераспределение влажности по длине образца, при этом после обработки влажность уменьшается в направлении от катода к аноду как для суглинка, так и для каолина практически на одинаковую величину. В среднем по образцу влажность суглинка уменьшается от 25 до 18%, а каолина – от 50 до 34%, в анодной зоне влажность в них уменьшается до 13 и 31%, соответственно. Таким образом, осушение каолина происходит интенсивнее, чем суглинка.

Осушене глинистых грунтов приводит к изменению объема порового пространства и, соответственно, – к изменению плотности в межэлектродном пространстве. Плотность покровного суглинка в ходе электрообработки изменяется неравномерно: в анодной зоне она возрастает по сравнению с плотностью исходного грунта, в катодной – уменьшается (рис. 1). Плотность каолина увеличивается по всей длине образца после электроосмоса. Средняя плотность суглинка возрастает от 1,94 до 1,97 г/см³, а каолина – от 1,61 до 1,77 г/см³.

Таблица

Распределение влажности и pH порового раствора в исходном грунте и после воздействия электроосмоса в зависимости от относительного расстояния от анода L/L_0

L/L_0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	Исходный грунт
Влажность W, %						
Покровный суглинок	13	17	18	20	20	25
Глуховецкий каолин	31	32	35	36	37	50
pH						
Покровный суглинок	1,7	4,0	6,2	10,1	11,5	6,7
Глуховецкий каолин	1,2	2,5	6,6	10,9	11,8	6,6

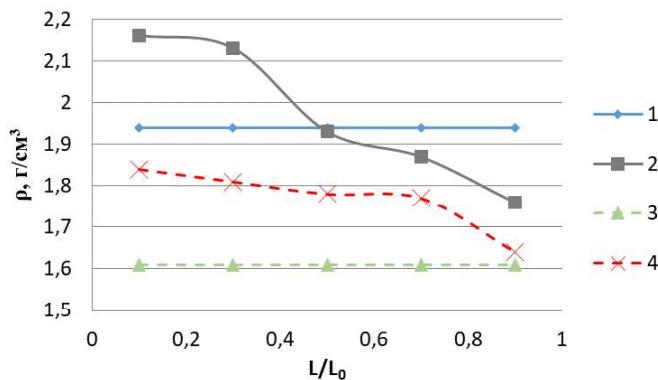


Рис. 1. Изменение плотности покровного суглинка (1 – до электроосмоса, 2 – после) и глуховецкого каолина (3 – до электроосмоса, 4 – после) по длине образца

Плотность скелета суглинка после обработки увеличивается в анодной и средней зонах, в катодной зоне уменьшается (рис. 2). Плотность скелета каолина увеличивается по сравнению с начальной по всей длине образца. В целом, плотность скелета суглинка увеличивается от 1,54 до 1,60 г/см³, а каолина – от 1,07 до 1,16 г/см³.

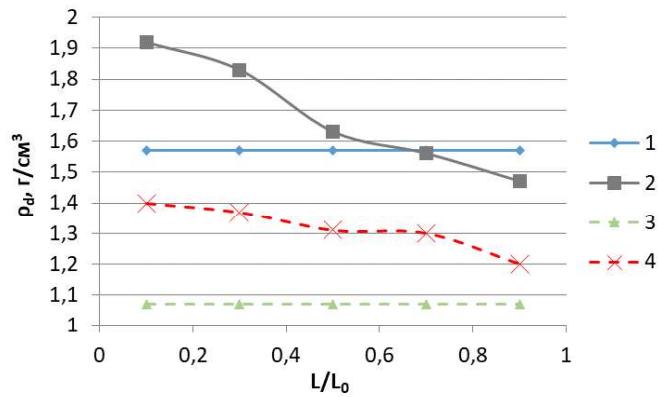


Рис. 2. Изменение плотности скелета по длине образца покровного суглинка и глуховецкого каолина до и после электроосмосотической обработки (обозначения см. на рис. 1)

В ходе электроосмоса происходит электролиз воды на электродах: на аноде разложение воды сопровождается выходом в раствор ионов H^+ , на катоде образуются ионы OH^- . В результате изначально нейтральный поровый раствор грунта у анода становится кислым, а у катода приобретает щелочную реакцию среды (см. табл.). При этом в ходе электроосмотической обработки каолина от анода к катоду формируется почти одинаковый градиент pH (от 1,2 до 11,8) по сравнению с образцом суглинка (от 1,7 до 11,5).

Перенос ионов под действием электрического поля приводит к перераспределению солесодержания в межэлектродном пространстве (рис. 3), при этом для суглинка и каолина этот процесс происходит немного по-разному. В целом для суглинка после электроосмоса солесодержание незначительно увеличивается, преимущественно его увеличение происходит в анодной зоне. Это, вероятно, связано с превышением скорости выхода ионов H^+ у анода в раствор в результате реакции электролиза воды над скоростью их выноса в ходе электроосмоса. Также, возможно, в сильнокислой среде имеет место растворение пленок оксидов железа, имеющихся в составе суглинка [5]. В ходе электроосмоса солесодержание порового раствора каолина также меняется иначе, чем у суглинка: оно значительно уменьшается по сравнению с исходным, а также возрастает в направлении от анода к катоду. Это объясняется выносом ионов растворенных солей с электроосмотическим потоком и их передвижением от анода к катоду.

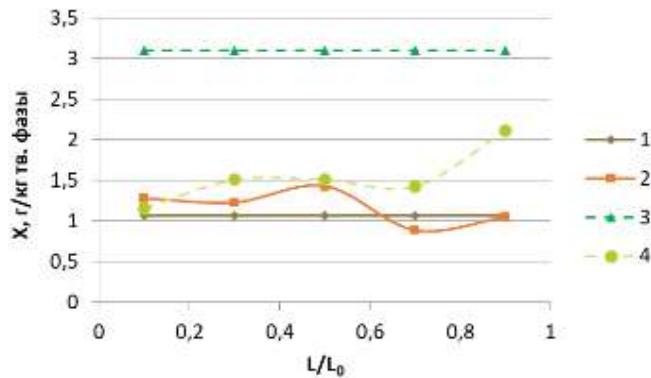


Рис. 3. Изменение солесодержания в исследуемых грунтах в зависимости от относительного расстояния от анода L/L_0 : в покровном суглинке (1 – исходное, 2 – после воздействия электроосмоса) и глуховецком каолине (1 – исходное, 2 – после воздействия электроосмоса)

Изменение pH порового раствора приводит к изменению поверхностных свойств частиц глинистых грунтов, в частности, величины ζ -потенциала, величина которого определяет характер их взаимодействия (рис. 4), а также величины точки нулевого заряда.

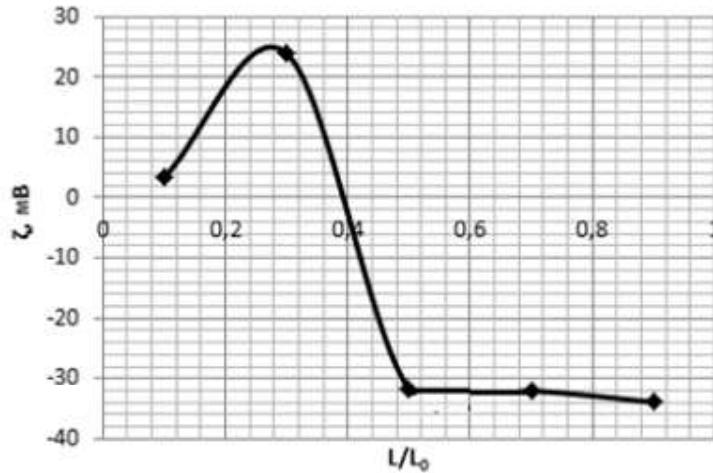


Рис. 4. Зависимость ζ -потенциала частиц покровного суглинка от относительного расстояния от анода (L/L_0) после электроосмоса при ионной силе раствора $I = 0,03$ моль/л

В исходной нейтральной среде ζ -потенциал частиц суглинка имеет отрицательное значение порядка – 30 мВ. В катодной зоне формируется щелочная среда в условиях практически неизменной ионной силы, в результате чего величина ζ -потенциала меняется слабо ($L/L_0 = 0,7 \div 0,9$). В анодной зоне ($L/L_0 = 0,3$) образуется кислая среда и также ионная сила раствора не меняется. Это приводит к перезарядке частиц ($\zeta \approx +25$ мВ) и изменению структуры их двойного электрического слоя (ДЭС). Непосредственно у анода ионная сила раствора значительно возрастает, из-за чего происходит сжатие ДЭС и уменьшение абсолютного значения ζ -потенциала [3]. В точке $L/L_0 \approx 0,4$ происходит смена знака ζ -потенциала, pH в этой точке соответствует точке нулевого заряда pH_{p.z.c.} ($pH_{p.z.c.} \approx 4,8$). В этой точке также наблюдается резкое изменение плотности (от 1,93 до 2,13 г/см³ в сторону анода) и плотности скелета суглинка (от 1,63 до 1,83 г/см³) (см. рис. 1). В соответствии с изменением ζ -потенциала частиц суглинка происходит изменение его микроагрегатного состава (рис. 5). Так, в катодной области с увеличением отрицательного значения ζ -потенциала частиц происходит их дезагрегация за счет сил ионно-электростатического отталкивания одноименных ДЭС и размер частиц уменьшается. Непосредственно у анода при сжатии ДЭС наоборот происходит агрегация частиц, сопровождаемая увеличением размеров микроагрегатов.

Вследствие этих процессов микроструктура глин также претерпевает существенные изменения от анода к катоду. В этом направлении уменьшается ее плотность и агрегированность, растет пористость.

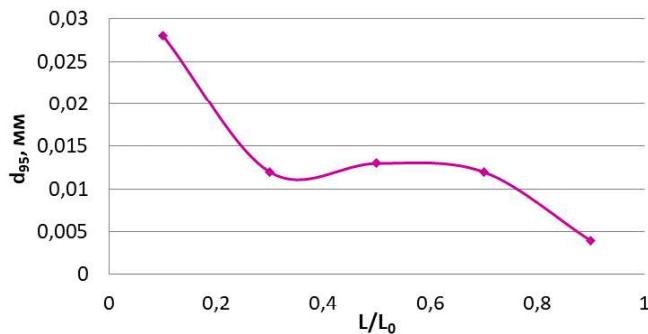


Рис. 5. Изменение преобладающего размера микроагрегатов d_{95} глинистых частиц по длине образца покровного суглинка после электроосмоса ($I = 0,03$ моль/л)

Выводы

1. В ходе электроосмотической обработки происходит значительное изменение физических свойств грунта: влажность уменьшается относительно начальной, а плотность и плотность скелета грунта увеличиваются относительно исходных значений. Кроме того, от анода к катоду происходит перераспределение показателей свойств: влажность увеличивается, а плотность и плотность скелета грунта уменьшаются. Более значительное изменение показателей свойств в результате электроосмоса наблюдается у каолина.

2. Воздействие электроосмоса приводит к изменению показателей физико-химических свойств. Солесодержание образца суглинка незначительно увеличивается по сравнению с исходным, при этом его увеличение происходит в основном в анодной зоне. Солесодержание каолина значительно снижается по сравнению с исходным ввиду большей электроосмотической активности.

3. При электроосмосе в анодной зоне образца формируется кислая среда, а в катодной — щелочная. Изменение pH порового раствора по длине образца приводит к изменению строения ДЭС частиц грунта и к изменению величины ζ -потенциала на границе ДЭС частиц. В начальном нейтральном растворе ζ -потенциал частиц отрицателен, в катодной зоне в щелочной среде он изменяется незначительно, а в анодной зоне в кислой среде происходит перезарядка частиц. В зоне образца, где происходит перезарядка частиц и изменяется строение ДЭС, происходит резкое изменение плотности и плотности скелета грунта.

4. В соответствии с изменением параметров ДЭС происходит изменение микростроения и микроагрегатного состава глин: в катодной зоне происходит дезагрегация и уменьшение среднего размера микроагрегатов, а в анодной зоне имеет место агрегация и увеличение размера микроагрегатов.

5. Установленные закономерности можно использовать для подбора наиболее эффективной схемы производства различных геотехнических работ.

Работа выполнена с использованием оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития Московского университета.

Список литературы

1. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.
2. Королев В.А. Теория электроповерхностных явлений в грунтах и их применение. М.: Сам полиграфист, 2015. 468 с.
3. Королев В.А., Нестеров Д.С. Физико-химические закономерности изменения электрических зарядов частиц глинистых грунтов // Инженерная геология. 2017. № 4. С. 50–60.
4. Лабораторные работы по грунтоведению: учеб. пособие, 3-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева: М.: КДУ, Университетская книга, 2017. 654 с.
5. Electrochemical remediation technologies for polluted soil, sediment and groundwater // Ed. by K.R. Reddy, C. Cameselle. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, 2009. 732 p.