

Д.С. НЕСТЕРОВ, В.А. КОРОЛЁВ

ТРАНСФОРМАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИ ИХ ЭЛЕКТРООСМОТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва, Российская Федерация
dsnesterovmsu@gmail.com, va-korolev@bk.ru*

Введение. Одной из глобальных проблем современности является борьба с загрязнением окружающей среды и, в частности, с загрязнением грунтов [1]. Наиболее сложными объектами для очистки являются загрязнённые водонасыщенные глинистые грунты, ввиду их малой водопроницаемости и высокой адсорбционной способности по отношению к загрязнителям [2]. Эффективной техникой для очистки подобных грунтов может служить электрокинетический метод, в ходе которого к водонасыщенному грунту прикладывается поле постоянного электрического тока, что вызывает передвижение загрязнителя в порах грунта.

При приложении электрического поля к грунту в нём возникает комплекс физических (уплотнение, разогрев) и физико-химических процессов (адсорбционные,

электрокинетические). Среди электрокинетических процессов, происходящих в грунте, наибольшее значение имеют электромиграция и электроосмос. Электромиграция – это передвижение заряженных ионов в поле электрического тока в порах грунта. Электроосмос же представляет собой перемещение молекул воды, окружающих ионы двойного электрического слоя (ДЭС), вызванное миграцией этих ионов под действием электрического тока [3]. Воздействие этого комплекса процессов приводит к изменениям состава, строения, состояния и свойств грунта. При этом эти изменения могут оказывать влияние на дальнейшее протекание процесса очистки грунта, способствуя или препятствуя ему.

В связи с недостаточной изученностью данных преобразований нами были проведены исследования изменения свойств глинистых грунтов различных минеральных типов при их очистке электроосмосом.

Объекты исследования. В качестве объектов исследования были использованы представители наиболее распространенных минеральных типов глинистых грунтов, встречающиеся на территории России и Украины: покровный суглинок prQ_{III} (г. Москва), глуховецкий каолин eN_I (с. Глуховцы, Украина), биясалинская иллитовая глина K_{1a} (с. Прохладное, Крым).

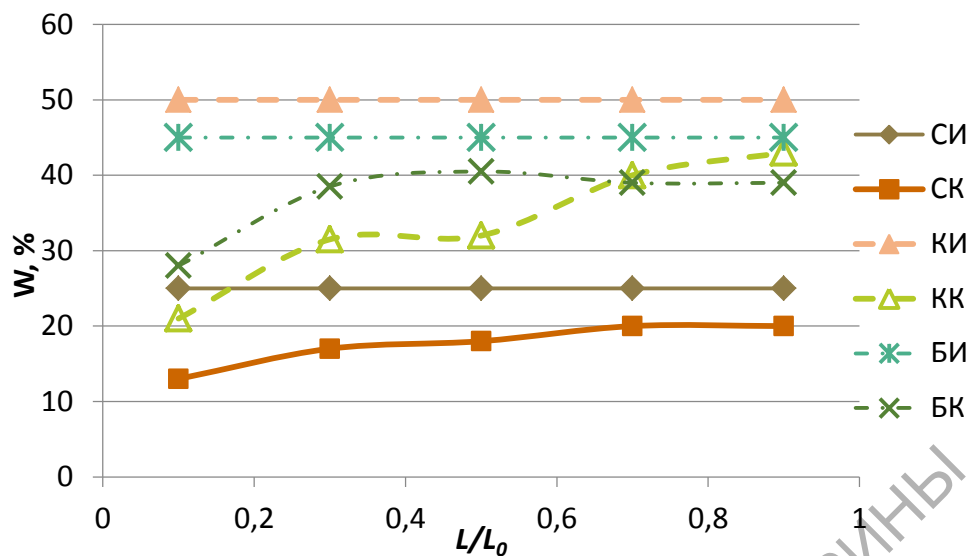
По минеральному составу суглинок представлен преимущественно кварцем (около 80 %) и 10 % глинистых минералов, кварцевые зёрна суглинка покрыты рубашками Fe_2O_3 . Глуховецкий каолин сложен на 75 % каолинитом и на 18 % кварцем с примесью иллита и гипса. Биясалинская глина состоит из иллита (70 %), каолинита (10 %), хлорита (10 %) и примеси смектитов, карбонатов и кварца. Показатели физико-химически свойств возрастают от суглинка к биясалинской глине [4].

Согласно ГОСТ 25100-2011 покровный суглинок представляет собой тяжёлый пылеватый суглинок, а глуховецкий каолин и биясалинская глина являются лёгкой пылеватой глиной [5].

Методы исследования. Для экспериментов по электроосмосу готовились глинистые пасты на 0,01 н растворе $CaCl_2$ при влажности верхнего предела пластичности W_L (25 % для суглинка, 50 % для каолина, 45% для биясалинской глины). Электроосмотические испытания проводились в одноотсековой ячейке открытого типа с возможностью выхода фильтрата в катодной зоне. Сила тока во времена эксперимента поддерживалась равной 10 мА путем повышения напряжения, подаваемого на электроды. Эксперимент завершался при значительном падении силы тока в цепи или при превышении напряжением значения 200 В. Для каждого грунта опыты были проведены с трехкратной повторностью.

По завершению опыта образец доставался из ячейки и делился на 5 частей по длине. В каждой части измерялись плотность, влажность, pH , отбирались пробы для приготовления водной вытяжки и суспензии. Затем согласно ГОСТ для каждой части рассчитывали плотность скелета грунта, пористость, показатель консистенции [5]. Такие же параметры определялись и для исходной пасты. Кроме того, из начальной пасты, а также приэлектродных зон обработанного образца отбирались пробы для изучения микростроения с помощью РЭМ.

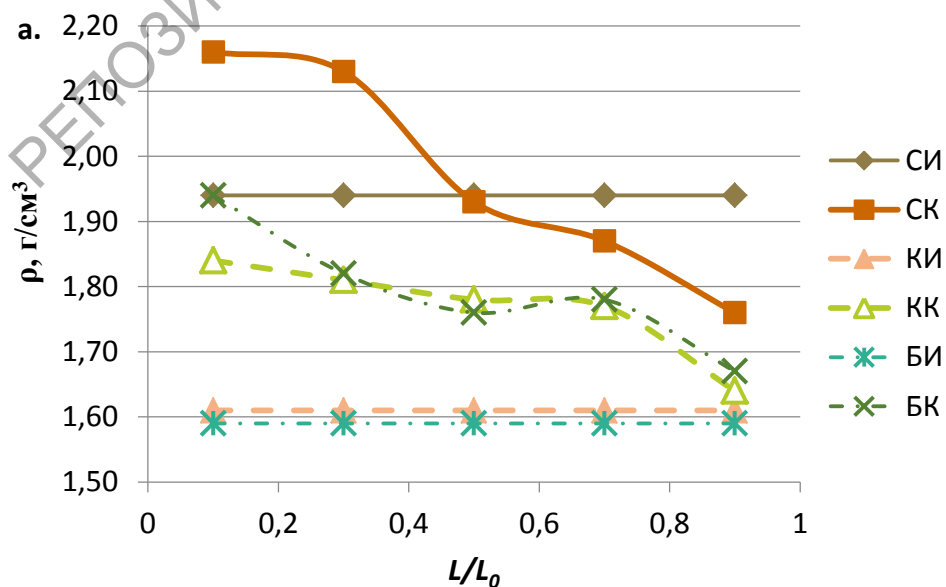
Результаты и обсуждение. Приложение электрического тока к глинистому грунту вызывает в нем электроосмотический поток, направленный от анода к катоду, из-за чего происходит перераспределение влажности по длине образца. Для всех грунтов влажность уменьшается от анода к катоду, а также в среднем по длине образца по сравнению с исходной: для суглинка – на 7 %, для каолина – на 15 %, для иллитовой глины – на 8 % (рисунок 1). Таким образом, среди изученных грунтов наибольший эффект осушения достигается для каолина, особенно в анодной зоне, где влажность становится ниже величины максимальной молекулярной влагоёмкости ($W_{mmv}=24$ %).



СИ – суглинок исходный, СК – суглинок после эксперимента, КИ – каолин исходный, КК – каолин после эксперимента, БИ – биясалинская глина исходная, БК – биясалинская глина после эксперимента, L_0 – длина образца

Рисунок 1 – Зависимость влажности W глинистых грунтов от относительного расстояния от анода (L/L_0)

Воздействие электроосмотического потока на грунты приводит к изменению их плотности (рисунок 2а). Это проявляется в увеличении плотности глуховецкого каолина и биясалинской иллитовой глины по всей длине образцов. Плотность суглинка изменяется иным образом: возрастает по сравнению с исходной в анодной зоне и уменьшается в катодной, что может быть связано с задержкой фильтрата у катода. В целом наиболее значительное увеличение плотности наблюдается для иллитовой глины.



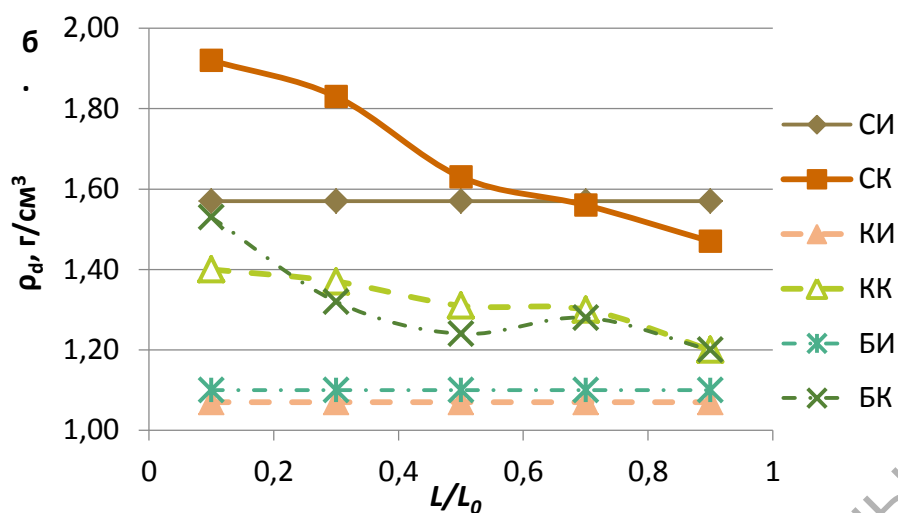


Рисунок 2 – Зависимость плотности $\rho(a)$ и плотности скелета ρ_s глинистых грунтов от относительного расстояния от анода (L/L_0) (условные обозначения см. рисунок 1)

Плотность скелета грунтов изменяется в соответствии с трендами изменения влажности и плотности. При этом, в отличие от закономерностей изменения плотности грунтов наибольшее увеличение плотности скелета среди изученных грунтов характерно для глуховецкого каолина.

Электроосмотическое осушение грунтов приводит также к изменению их пористости (рисунок 3). Пористость каолина и иллитовой глины уменьшается по всей длине образцов относительно начальной. Пористость суглинка уменьшается в анодной зоне, но увеличивается в катодной относительно исходной. В целом пористость обработанных грунтов увеличивается от анода к катоду. Наибольшие изменения пористости наблюдаются для образцов каолина.

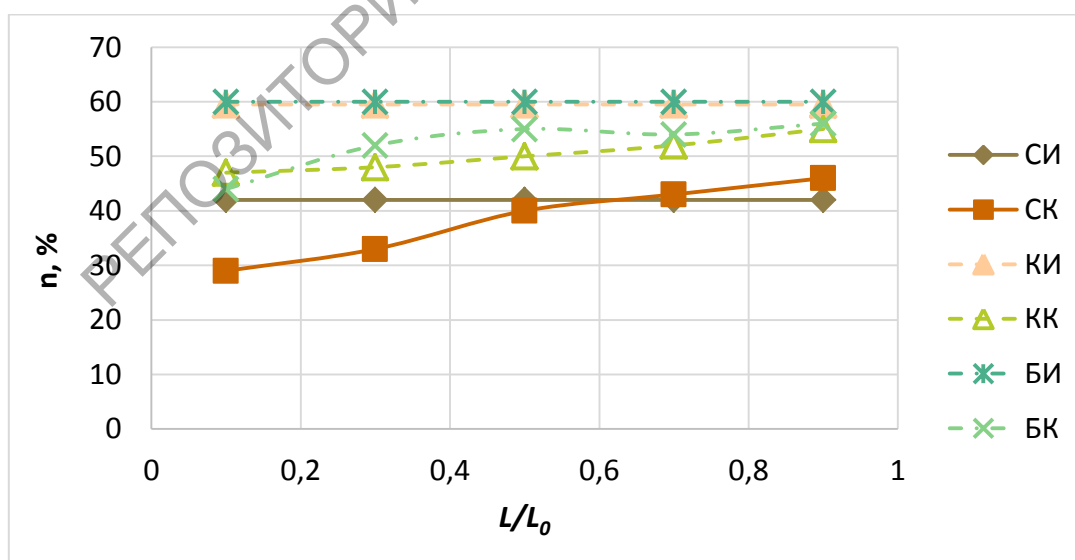


Рисунок 3 – Зависимость пористости n глинистых грунтов от относительного расстояния от анода (L/L_0) (условные обозначения см. рисунок 1)

Также осушение грунтов электроосмосом приводит к изменению их консистенции. Исходные каолин и иллитовая глина характеризуются текучепластичной консистенцией, а суглинок – текучей. После опытов в анодной зоне суглинка консистенция становится полутвёрдой, а в катодной – текучепластичной. Похожим образом изменяется консистенция иллитовой глины. Наиболее существенные изменения в консистенции характерны для каолина: в анодной зоне грунт имеет твёрдую консистенцию, в большей части межэлектродного пространства – полутвёрдую и тугопластичную.

Выводы. 1. Подтверждено, что действие электроосмоса на глинистые грунты вызывает изменение их физических свойств – снижение влажности и пористости, повышение плотности, изменение их консистенции, характеризуемое снижением показателя консистенции др.

2. Трансформация физических свойств глин под влиянием электроосмоса происходит более контрастно у грунтов с большей физико-химической активностью.

3. Происходящие в грунте в ходе обработки электроосмосом изменения физических свойств могут использоваться для целенаправленной модификации глин в основании инженерных сооружений.

Благодарности. Работа была выполнена на оборудовании, приобретённом в рамках «Программы развития Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова». *This work was supported in part by «M.V. Lomonosov Moscow State University Program of Development», and the authors acknowledge support from «M.V. Lomonosov Moscow State University Program of Development».*

Список литературы

1 Королёв, В.А. Очистка и восстановление геологической среды. Уч. пособие для вузов / В.А. Королёв. – М. : ООО «Самполиграфист», 2019. – 430 с.

2 Королёв, В.А. Теория электроповерхностных явлений в грунтах и их применение / В.А. Королёв. – М. : ООО «Сам полиграфист», 2015. – 468 с.

3 Reddy K.R., Cameselle C. Overview of electrochemical remediation technologies. In: Electrochemical Remediation Technologies for Polluted Soils, Sediments and Groundwater; // Reddy, K.R.; Cameselle, C., Eds.; A John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey, 2009; 3-28.

4 Korolev V.A.; Nesterov D.S. Regulation of clay particles charge for design of protective electrokinetic barriers. // Journal of Hazardous Materials. 2018, 358, 165–170.

5 ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – М., 2011.