

## ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИН ПРИ ЭЛЕКТРООСМОСЕ

Д.С. Нестеров

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
магистрант 1 года обучения, dsnesterovmsu@gmail.com

Научный руководитель: д.г.-м.н., профессор Королёв В.А.

Аннотация. Рассмотрено изменение значений показателей физико-химических свойств глин при электроосмосе. Описано происходящее при этом изменение pH и  $\zeta$ -потенциала на примере покровного суглинка и каолина.

Ключевые слова: электроосмос,  $\zeta$ -потенциал, глина, точка нулевого заряда

## CHANGE OF CLAY PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES DUE TO ELECTROOSMOSIS

*D.S. Nesterov*

M.V. Lomonosov Moscow State University, 1<sup>st</sup> year Master's Degree  
Student, dsnesterovmsu@gmail.com

Research Supervisor: Doctor of Geology and Mineralogy, Professor V.A. Korolev

Abstract. Effect of electroosmosis on the clay soil physicochemical quality metrics was considered. The attendant change of pH and  $\zeta$ -potential values was characterized for mantle clay loam and kaoline as samples.

Keywords: electroosmosis,  $\zeta$ -potential, clay soil, point of zero charge

Введение. Глинистые грунты являются одним из самых распространенных оснований сооружений. Во многих случаях они водонасыщены, что создаёт сложности при возведении сооружений. Поэтому такие грунты необходимо осушать, причём из-за низкой водопроницаемости осушение проводится с помощью электроосмоса [1]. Изучению физико-химических процессов, сопровождающих электроосмотическое осушение, посвящено настоящее исследование.

Объекты и методика исследования. Для исследования были отобраны покровный суглинок ргQ<sub>III</sub> (81% кварца, 7% полевых шпатов, 12% гидрослюдистых минералов) и глуховецкий каолин eN<sub>1</sub> (75% каолинита, 18% кварца, 5% гидрослюды, 2% гипса),

представляющие наиболее распространённые для средней России типы глинистых грунтов. По ГОСТ 25100-2011 покровный суглинок является тяжёлым пылеватым суглинком, а глуховецкий каолин представляет собой лёгкую пылеватую глину [2].

Электроосмотическое испытание проводилось в однокамерной открытой ячейке при постоянной силе тока 10 мА. Испытывались образцы нарушенного сложения, приготовленные при влажности верхнего предела пластичности  $W_L$  на 0,01 н растворе  $CaCl_2$ . После испытания образец делили по длине на 5 равных частей. Из каждой части брали пробы на плотность, влажность и для приготовления суспензий. Суспензии готовились при соответствующих значениях рН с постоянной ионной силой раствора 0,03 н, при соотношении твёрдой фазы к жидкой 1:40. Величины  $\zeta$ -потенциала глинистых частиц определялись в суспензиях с помощью лазерного анализатора HoribaSZ-100. Кроме того, было определено перераспределение солей по длине образца с помощью солемера HMDigitalCOM-80. Также из начальной пасты и катодной и анодной зон отбирались пробы для исследования микроструктурных изменений при помощи РЭМ.

Результаты и обсуждение. В ходе электроосмоса происходит фильтрация воды из анодной зоны в катодную. Кроме того, электроосмос в глинистых грунтах сопровождается рядом физико-химических процессов. Так, при прохождении электрического тока через глину происходит электролиз воды у электродов: на аноде вода разлагается с выходом ионов  $H^+$  в поровый раствор, на катоде образуются ионы  $OH^-$ . Вследствие этого в анодной зоне формируется кислая среда, а в катодной – щелочная [3]. Распределение влажности и рН по длине образца показано в таблице.

Таблица  
Распределение влажности (W, %) и рН порового раствора глин после электроосмоса в зависимости от относительной длины от анода ( $L/L_0$ )

$L/L_0$		0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	Нп
Пс	W, %	15	18	23	24	25	25
	рН	1,7	4,0	6,2	10,1	11,5	6,7
Гк	W, %	31	32	35	36	37	50
	рН	1,2	2,5	6,6	10,9	11,8	6,6

Примечание. Пс – покровный суглинок, Гк – глуховецкий каолин, Нп – начальная паста

Согласно полученным результатам, влажность образцов увеличивается от анода к катоду. Также в целом влажность грунта уменьшается в каждой точке образца по сравнению с влажностью начальной пасты ввиду того, что при испытании используется ячейка

открытого типа. Осушение сильнее проявляется в каолиновой глине, чем в суглинке.

В ходе электроосмоса в обоих образцах формируются градиенты рН: в анодной зоне среда становится кислой, в катодной зоне поровый раствор приобретает щелочную реакцию среды. Образующиеся градиенты рН лимитируют дальнейшее протекание электроосмоса.

В процессе электроосмоса происходит также изменение микроскопических характеристик твёрдой фазы – глинистых частиц. Важнейшим параметром является  $\zeta$ -потенциал на границе ДЭС, от величины и знака которого зависят плотность, прочность, водопроницаемость глинистого грунта. Распределение  $\zeta$ -потенциала по длине образца после электроосмоса показано на рисунке.

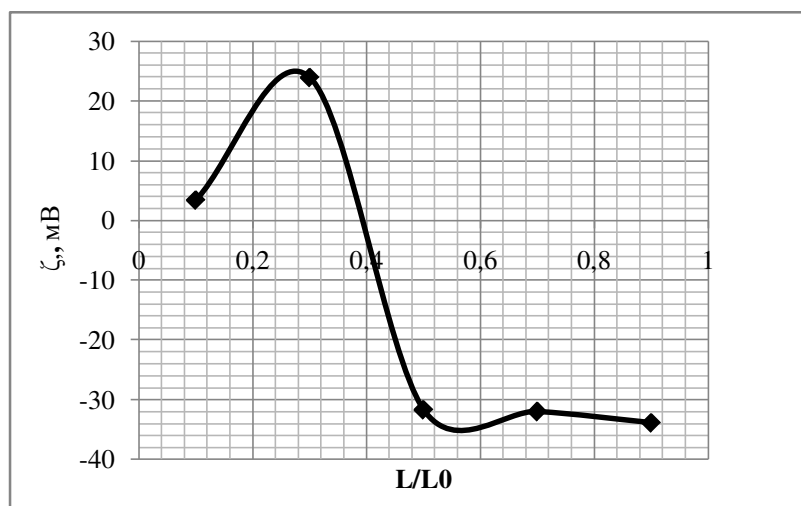


Рис. Зависимость  $\zeta$ -потенциала частиц покровного суглинка  $rgQ_{III}$  от относительного расстояния от анода ( $L/L_0$ ) при ионной силе раствора  $I=0,03$  моль/л после электроосмоса

В начальном нейтральном поровом растворе глинистые частицы имеют отрицательные значения  $\zeta$ -потенциала. В ходе электроосмоса происходит изменение рН раствора, в результате чего происходит изменение величины и в ряде случаев знака  $\zeta$ -потенциала частиц. При увеличении рН в условиях постоянной ионной силы раствора величины  $\zeta$ -потенциала глинистых частиц меняются незначительно. Поэтому в катодной зоне при формировании щелочной обстановки величина  $\zeta$ -потенциала частиц практически остаётся неизменной.

В анодной зоне образуется кислая среда, в результате чего отрицательные значения  $\zeta$ -потенциала глинистых частиц уменьшаются. В точке  $L/L_0 \approx 0,4$  происходит смена знака  $\zeta$ -потенциала на положительный. Непосредственно у анода в сильноокислой среде положительное значение  $\zeta$ -потенциала частиц несколько уменьшается из-за сжатия толщины ДЭС.

Величина рН, при которой происходит смена знака  $\zeta$ -потенциала глинистых частиц, называется точкой нулевого заряда ( $pH_{p.z.c.}$ ) [4]. Смена знака  $\zeta$ -потенциала частиц покровного суглинка происходит при  $pH_{p.z.c.} \approx 4,8$ .

Выводы. 1. В ходе электроосмоса в ячейке открытого типа происходит уменьшение влажности по всей длине образца глинистого грунта по сравнению с начальной, а также от катода к аноду.

2. Реакции электролиза воды на электродах, сопровождающие электроосмос, вызывают изменение величины рН порового раствора глины: у анода формируется кислая среда, а у катода – щелочная.

3. Формирование градиентов рН вызывают изменение величин  $\zeta$ -потенциала глинистых частиц по длине образца: при постоянной ионной силе раствора у катода изменение  $\zeta$ -потенциала частиц незначительно, в анодной зоне знак  $\zeta$ -потенциала глинистых частиц меняется на положительный.

#### Литература

1. Королёв В.А. Теория электроповерхностных явлений в грунтах и их применение. М.: ООО «Самполиграфист», 2015, 468 с.
2. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М., 2011
3. Masi M., Cessarini A., Iannelli R. Model-based optimization of field-scale electrokinetic remediation of marine sediments // *Proceedings of the 15<sup>th</sup> Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017)* (ed. Elektorowicz M.). Montreal, Canada: Concordia Univ., 2017, pp. 292-300.
4. Chorover J., Sposito G. Surface charge characteristics of kaolinitic tropical soils/ *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, Vol. 59, №5, pp. 875-884.