

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ НА ОСНОВЕ СУСПЕНЗИОННОГО ЭФФЕКТА

Евтихов М.В.,

*магистрант 1 года обучения Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация*

Научный руководитель – Королев В.А., доктор геол.-минер. наук, профессор

Ключевые слова. Суспензионный эффект, электроповерхностные явления, заряд частиц, электростатический потенциал поверхности, точка нулевого заряда.

Keywords. Suspension effect, electrical surface phenomena, charge of particles, electrostatic potential of the surface, point of zero charge.

Изучение параметров ДЭС позволяет оценивать поведение глинистых грунтов в различных условиях в первую очередь за счет оценки процессов адсорбции, коагуляции, стабилизации суспензий и фильтрации, что особенно актуально при решении инженерно-геологических, геотехнических и эколого-геологических задач. Большинство имеющихся в настоящее время методов оценки параметров ДЭС довольно сложны и требуют специальную аппаратуру для электроповерхностных исследований, поэтому разработка простых способов оценки параметров ДЭС в глинистых грунтах, к которым и относится метод суспензионного эффекта, является актуальной и имеет важное научное и практическое значение.

Объектом исследования являются модельные глинистые грунты иллитового, смектитового и каолинитового состава. Предметом исследования является оценка параметров ДЭС глинистых частиц, найденных по результатам определения суспензионного эффекта в этих грунтах.

Целью работы является сравнительный анализ параметров ДЭС изучаемых глинистых грунтов, оцениваемых на основе суспензионного эффекта.

Материал и методы. Методика оценки параметров ДЭС на основе суспензионного эффекта включает приготовление исходных поровых растворов, приготовление серий суспензий грунтов на основе этих растворов, определение величин суспензионных эффектов и обработку полученных результатов.

Приготовление суспензий. Приготовление исходных растворов производилось методом разбавления концентрированных растворов соляной кислоты и гидроксида натрия. Суспензии в рамках работы готовились путем добавления $0,1 \pm 0,0005$ г глинистого грунта в $20 \pm 0,5$ мл исходного раствора и перемешивания. После перемешивания суспензии оставлялись на сутки для достижения равновесия.

Определение суспензионного эффекта. Величина суспензионного эффекта определяется как разница pH суспензии и равновесного порового раствора (1) [1,2,3,4]:

$$\Delta \text{pH} = \text{pH}_{\text{сusp}} - \text{pH}_{\text{раст}} \quad (1)$$

В рамках работы было разработано оборудование, состоящее из:

- емкости с суспензией, в которую погружены хлорсеребряный электрод сравнения, стеклянный ионоселективный электрод и магнитная мешалка;

- аналогового прецизионного усилителя с большим сопротивлением входа (порядка 10^{13} Ом) (рисунок 1);

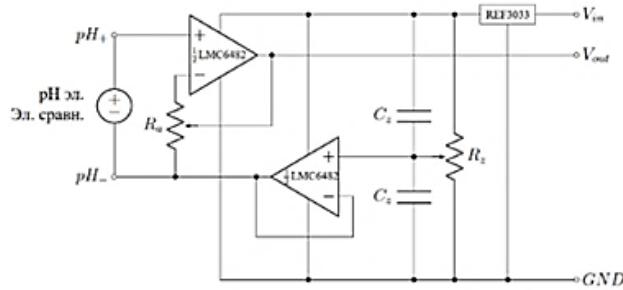


Рисунок 1 – Схема усилителя

- Микроконтроллера ESP32, оснащенного аналого-цифровым преобразователем, схемой управления электродвигателем, достаточным объемом памяти для временного хранения показаний в случае невозможности их отправки и радиомодулем Wi-Fi для передачи показаний на сервер;

- сервера, принимающего, хранящего и обрабатывающего измеренные значения (рисунок 2).

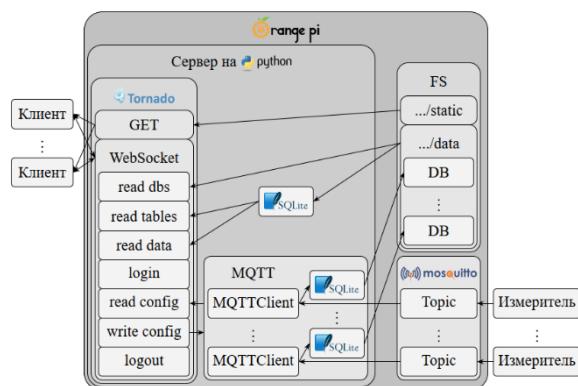


Рисунок 2 – Структура сервера

Разработанное в рамках работы оборудование позволило снизить погрешность измерений и проводить исследование в автоматическом режиме.

Обработка полученных результатов. Как отмечено во многих работах [1–4], знак супензионного эффекта соответствует знаку заряда глинистых частиц, а в точке нулевого заряда супензионный эффект не наблюдается ($\Delta\text{pH} = 0$). Таким образом, на графике зависимости супензионного эффекта от pH равновесного раствора можно выделить зоны, где частицы заряжены отрицательно ($\Delta\text{pH} < 0$), положительно ($\Delta\text{pH} > 0$) и точки нулевого заряда (рисунок 3).



Рисунок 3 – Принципиальная схема определения знака заряда частиц и точек нулевого заряда

Если предположить, что величина супензионного эффекта ΔpH является функцией от общего заряда глинистых частиц Q , разложение которой в ряд Маклорена $\Delta pH(Q) = \sum_n K_n Q^n$ имеет ненулевой радиус сходимости, то при достаточно малых Q можно предполагать линейную зависимость этих величин: $\Delta pH = K_{\Delta pH} Q$. Общий заряд глинистых частиц пропорционален их количеству, а значит $\Delta pH = K_{\Delta pH} t \bar{q}$, где t – масса глинистого грунта, а \bar{q} – его удельный заряд в Кл/г. Константа $K_{\Delta pH}$ является функцией температуры, состава электролита и геометрии системы (2):

$$\left(\frac{\Delta pH}{t \bar{q}} \right)_{T, sol, geom} = K_{\Delta pH} \equiv const, \quad (2)$$

где индекс $T, sol, geom$ обозначает постоянство температуры, состава порового раствора и геометрии системы.

Согласно теории Дебая–Гюкеля, толщина ДЭС δ глинистых частиц не зависит от потенциала поверхности и определяется составом порового раствора, а значит может быть оценена сверху, как (3):

$$\delta = \frac{1}{F} \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0 RT}{2\pi \sum_i z_i^2 C_{\infty,i}}} \lesssim \frac{1}{2F} \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0 RT}{\rho} \times 10^{\frac{4-|pH-7|}{2}}} \approx 389 \times 10^{-\frac{|pH-7|}{2}} \text{ м} \quad (3)$$

Оценку потенциала поверхности φ_0 можно получить исходя из теории Гуи–Чепмена, которая позволяет связать данные величины соотношением (4):

$$\varphi_0 = \frac{\bar{q} \delta}{\epsilon \epsilon_0} \lesssim \frac{\Delta pH}{m K_{\Delta pH}} \frac{1}{2F} \sqrt{\frac{RT}{\epsilon \epsilon_0 \pi} \times 10^{\frac{4-|pH-7|}{2}}} \approx \frac{\Delta pH}{m K_{\Delta pH}} \times 542 \times 10^{-\frac{|pH-7|}{2}} \text{ В} \quad (4)$$

Результаты и их обсуждение. С помощью данных методик удалось оценить параметры ДЭС частиц каолинитовой глины полтавской свиты ($eN_1^{1-2} pl$), иллитовой глины сиверской свиты ($m\epsilon_1 sv$) и смектитовой глины цихисубанской свиты ($hdP_2 zh$) в диапазоне pH от 4 до 10.

Согласно измеренным величинам супензионного эффекта (рисунок 4), частицы всех трех глинистых грунтов во всем исследованном диапазоне pH заряжены отрицательно, но частицы каолинитовой глины имеют наименьшие абсолютные величины заряда, частицы иллитовой – 1,6 раза большие, а смектитовой – в 2 раза большие.

Толщина ДЭС глинистых частиц всех трех глин в зависимости от pH порового раствора уменьшается (рисунок 5) от 390 нм до примерно 12 нм при увеличении концентрации порового раствора.

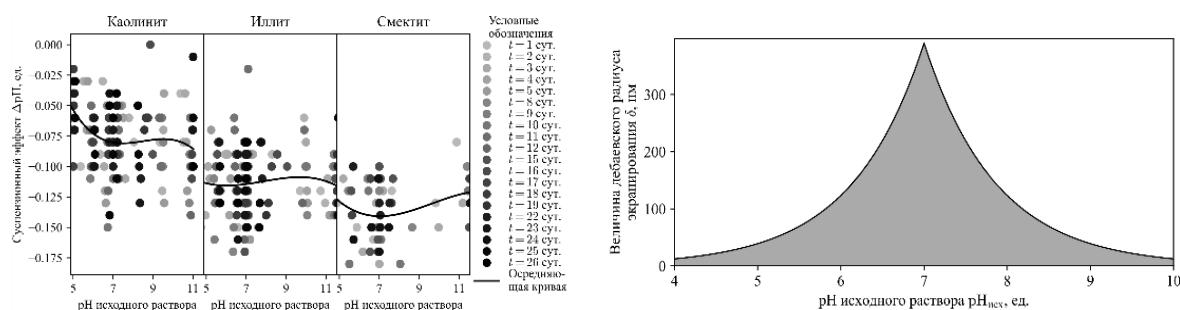


Рисунок 4 – Величины супензионного эффекта

Рисунок 5 – Толщина ДЭС глинистых частиц

Электростатический потенциал поверхности глинистых частиц изменяется согласно величинам толщины ДЭС и зарядов глинистых частиц. Частицы каолинитовой глины обладают наименьшими электростатическими потенциалами поверхности, частицы смектитовой глины – наибольшими (примерно в 2 раза большими зарядов частиц каолинитовой глины), а иллитовой глины характеризуются промежуточными. Также стоит отметить, что электростатические потенциалы поверхности сильно снижаются с ростом

концентрации порового раствора, уменьшаясь примерно в 32 раза при изменении pH от 7 до 4 или 10.

Заключение. Метод супензионного эффекта позволяет полуколичественно оценить параметры ДЭС глинистых частиц, но не требует специального оборудования для электроповерхностных исследований.

В диапазоне pH исходных растворов от 4 до 10 супензионные эффекты в супензиях исследуемых глин принимают отрицательные значения, что свидетельствует об отрицательном заряде частиц, но вот величины их зарядов и электростатических потенциалов существенно различаются. Наименьшими зарядами и потенциалами обладают частицы каолиновой глины, наибольшими – смектитовой, а частицы иллитовой глины имеют промежуточные величины зарядов.

Толщина ДЭС не зависит от зарядов частиц и определяется концентрацией ионов порового раствора, которая во многом определяется его pH, в связи с чем при одинаковых pH исходных растворов следует предполагать схожие толщины ДЭС.

1. Евтихов, М.В. Оценка супензионного эффекта в глинистых грунтах / М.В. Евтихов, В.А. Королев // Материалы шестой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве» (Москва, 25 апреля 2024 г.). – М.: ООО «Геомаркетинг», 2024. – С. 20–26. – ISBN 978-5-605-03694-4. – DOI: 10.25296/978-5-6050369-4-4-2024-4-1-156.
2. Евтихов, М.В. Супензионные эффекты pH и Eh в каолиновой и иллитовой глинах / М.В. Евтихов, В.А. Королев // Международная научная конференция аспирантов, студентов и молодых ученых «Ломоносов-2025» : секция «Геология», подсекция «Инженерная геология» (Москва, МГУ, 2025).
3. Королев, В.А. Теория электроповерхностных явлений в грунтах и их применение : электрон. изд. / В.А. Королев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КДУ, Добросвет, 2023. – ISBN 978-5-7913-1302-7. – DOI: 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1302-7-2023-498.
4. Фридрихсберг, Д.А. Курс коллоидной химии / Д.А. Фридрихсберг. – Л.: Химия, 1984. – 368 с.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ НИТРАТОВ В КЛУБНЯХ КАРТОФЕЛЯ, ВЫРАЩЕННЫХ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ

Казьмина Н.О.,

*студентка 4 курса ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь
Научный руководитель – Литвенкова И.А., канд. биол. наук, доцент*

Ключевые слова. Содержание нитратов, клубни картофеля, сорт, промышленное производство, ПДК.

Keywords. Nitrate content, potato tubers, variety, industrial production, MPC.

Значительное антропогенное влияние на окружающую среду ведет к ее загрязнению. Особому влиянию подвержены почвы, от которых напрямую зависит качество сельскохозяйственной продукции. Существенную угрозу для здоровья человека представляет избыточное накопление нитратов в овощах, в том числе в картофеле, что обуславливает необходимость их постоянного контроля и нормирования.

Цель работы – выявление количественного содержания нитратов в разных сортах картофеля и сравнение их с нормами ПДК.

Материал и методы. Исследования проводились с осени 2024 по весну 2025 года, на территории города Витебска. Объектом исследования являлись клубни картофеля разных сортов, которые были разделены на две категории: выращенные в домашних условиях и в условиях массового производства. Исследуемый материал был приобретен в следующих торговых сетях: Евроопт, Копеечка, Гиппо, Санта, Ника, Green, Витебские продукты, Веста. Все они расположены в пределах города Витебска. Картофель, выращенный в домашних условиях, был собран с нескольких дачных участков Витебской области: Городокском, Шумилинском и в Оршанском районах.

Измерения проводились специализированным прибором SOEKS Ecovisor F4 в каждом клубне уровень нитратов проводили с трехкратной повторностью [1].