



## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ДВОЙНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Поступила в редакцию: 22.12.2025

Принята к публикации: 22.01.2026

Опубликована 30.01.2026

### КОРОЛЁВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д. г.-м. н., профессор, г. Москва, Россия  
va-korolev@bk.ru

### ЕВТИХОВ М.В.

Магистрант кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия  
emv649@yandex.ru

### АННОТАЦИЯ

Параметры двойного электрического слоя (ДЭС) глинистых частиц (толщина слоя, знак и величина заряда, поверхностная плотность и др.) обуславливают основные физико-химические свойства грунтов, такие как набухаемость, усадка и диффузионно-осмотические явления. Кроме того, они играют ключевую роль в формировании структурных связей и прочности коагуляционных контактов, что в конечном итоге предопределяет деформационные и прочностные характеристики грунтов. Поэтому разработка простых и надежных методов оценки параметров ДЭС глинистых грунтов имеет большое практическое значение, в том числе при инженерно-геологических исследованиях и изысканиях. В этой связи в статье анализируются возможности современных методов оценки параметров ДЭС в глинистых грунтах.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

глинистые грунты; двойной электрический слой; электрофорез; электроосмос; поверхностная проводимость; суспензионный эффект.

### ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Королев В.А., Евтихов М.В. Методы оценки параметров двойного электрического слоя глинистых грунтов // Геоинфо. 2025. Т. 7. № 4. С. 16–20.  
DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-4-16-20.

# METHODS FOR EVALUATING THE PARAMETERS OF THE ELECTRIC DOUBLE LAYER IN CLAYEY SOILS

Received: 22.12.2025

Accepted for publication 22.01.2026

Published 30.01.2026

## KOROLEV V.A.

DSc (Geology and Mineralogy), professor at the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia  
va-korolev@bk.ru

## EVTIKHOV M.V.

Master's student at the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia  
emv649@yandex.ru

## ABSTRACT

The parameters of the electric double layer (EDL) of clay particles (layer thickness, sign and magnitude of charge, surface charge density, etc.) determine the main physicochemical properties of soils, such as swelling, shrinkage, and diffusion-osmotic phenomena. In addition, they play a key role in the formation of structural bonds and the strength of coagulation contacts, which ultimately determine the deformation and strength characteristics of soils. Therefore, the development of simple and reliable methods for evaluating the parameters of the EDL in clayey soils is of great practical importance, including for engineering-geological studies and site investigations (surveys). In this regard, the paper analyzes the capabilities of modern methods for evaluating EDL parameters in clayey soils.

## KEYWORDS:

clayey soils; electric double layer (EDL); electrophoresis; electroosmosis; surface conductivity; suspension effect.

## FOR CITATION:

Korolev V.A., Evtikhov M.V. *Metody otsenki parametrov dvoynogo elektricheskogo sloya glinistykh gruntov [Methods for evaluating the parameters of the electric double layer in clayey soils]* // *GeoInfo*. 2025. T. 7. № 4. S. 16–20. DOI:10.58339/2949-0677-2025-7-4-16-20 (in Rus.).

## Введение ►

Классическими методами оценки параметров двойного электрического слоя в глинистых грунтах считаются методы электрофореза, электроосмоса и поверхностной проводимости. Но для их использования требуется проведение достаточно сложных испытаний с применением специализированного оборудования, в связи с чем весьма актуальной представляется разработка более простых методов, не требующих специализированного оборудования, основанных, например, на суспензионном эффекте [1].

Объектом исследования выступают глинистые грунты различного состава, а также различные коллоидные системы, такие как золи, эмульсии, суспензии.

Предметом исследования является оценка параметров ДЭС глинистых частиц, найденных по результатам определения суспензионного эффекта в этих грунтах.

Цель работы – обзор методов определения параметров ДЭС глинистых ча-

стиц и обоснование метода, основанного на суспензионном эффекте.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Выполнить анализ основных методов электроповерхностных исследований.
2. Обосновать возможность оценки величины заряда глинистых частиц на основе суспензионного эффекта.
3. Обосновать возможность оценки толщины ДЭС (дебаевского радиуса экранирования) глинистых частиц на основе параметров, получаемых при измерении суспензионного эффекта.
4. Обосновать возможность оценки потенциала частиц на основе сведений о суспензионном эффекте.

## Метод оценки параметров двойного электрического слоя на основе поверхностной проводимости ►

При протекании электрического тока через глинистый грунт общая проводимость  $\chi$  последнего складывается из объемной проводимости порового раствора  $\chi_v$  и поверхностной проводимо-

сти  $\chi_s$  за счет двойных электрических слоев глинистых частиц [2].

На основе величины  $\chi_s$ , измеренной по проводимости грунта, можно рассчитать удельную поверхностную электрическую проводимость  $K_s$  по формуле:

$$K_s = \frac{\chi_s n_0}{S_0}, \quad (1)$$

где  $S_0$  – площадь поперечного сечения грунта;  $n_0$  – пористость грунта.

Величина  $K_s$  определяется проводимостью двойных электрических слоев глинистых частиц [3], что позволяет на ее основе определить их параметры, но методика расчета этих параметров достаточно сложна и не будет подробно описываться в рамках данной работы.

## Метод оценки параметров двойного электрического слоя на основе электрофореза ►

При приложении к суспензии глинистого грунта разности потенциалов наблюдается движение заряженных глинистых частиц к противоположно заряженному электроду относительно счи-

тающейся неподвижной жидкой фазы, причем скорость такого движения определяется геометрией и электрическим зарядом глинистых частиц, а также параметрами раствора, благодаря чему представляется возможным оценить параметры двойных электрических слоев.

Основным законом, связывающим скорость движения глинистых частиц в электрическом поле с параметрами их двойных электрических слоев, считается теория Гельмгольца – Смолуховского, предполагающая линейную зависимость скорости от электрокинетического потенциала ( $\zeta$ -потенциала) [3, 4]:

$$v_{\text{эф}} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\zeta E}{4\pi\eta} = K_{\text{эф}}E, \quad (2)$$

где  $v_{\text{эф}}$  – скорость движения глинистых частиц;  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная,  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость раствора;  $\eta$  – вязкость раствора;  $E$  – напряженность электрического поля.

Позже формула (2) была уточнена Духиным и Дерягиным [4] за счет учета релаксационного эффекта и сил электрофоретического торможения, вызванных электроосмотическим потоком раствора. Полученное ими уравнение обычно записывают в следующем виде:

$$v_{\text{эф}} = \frac{2\varepsilon\varepsilon_0\zeta E}{3\pi\eta} f\left(\frac{d}{\delta}\right), \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр частицы;  $\delta$  – толщина дебаевской ионной атмосферы;  $f(d/\delta)$  – функция, описывающая релаксационный эффект.

Таким образом, для определения электрокинетического потенциала на основе электрофореза требуется заполнить часть капилляра суспензией, остальную часть – раствором, аналогичным по составу поровому, а затем приложить разность потенциалов. В таком случае по перемещению границы «раствор – суспензия» представляется возможным определить скорость перемещения глинистых частиц, что позволяет рассчитать электрокинетический потенциал на основе уравнения (2) или уравнения (3) [5].

### Метод оценки параметров двойного электрического слоя на основе электроосмоса ►

Согласно современным представлениям диффузные части двойных электрических слоев имеют противоположный по отношению к глинистым части-

цам электрический заряд, благодаря чему при приложении к грунту разности потенциалов наблюдается возникновение потока жидкой фазы относительно неподвижного твердого компонента [3, 4].

Как было показано многими исследователями, в первом приближении электроосмотический поток также описывается теорией Гельмгольца – Смолуховского:

$$v_{\text{зо}} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\zeta E}{4\pi\eta} = K_{\text{зо}}E, \quad (4)$$

где  $v_{\text{зо}}$  – скорость движения жидкой фазы;  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость раствора;  $\eta$  – вязкость раствора;  $E$  – напряженность электрического поля.

Истинную скорость движения порового раствора определить достаточно сложно в связи с неоднородностью геометрии порового пространства, обусловленной полиминеральностью глинистых грунтов, различиями в геометрии глинистых частиц и образуемых ими микроструктур, которые значительно изменяются в зависимости от состава и степени литификации таких грунтов. В связи с этим на практике вместо истинной скорости движения порового раствора гораздо чаще пользуются его расходом  $Q_{\text{зо}}$ , в связи с чем уравнение (4) принято записывать в следующем виде [5]:

$$Q_{\text{зо}} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\zeta FE}{4\pi\eta}, \quad (5)$$

где  $F$  – суммарная площадь пор.

Согласно теории Гельмгольца – Смолуховского  $\zeta$ -потенциал не зависит от ширины зазора между частицами глины или радиуса пор, а следовательно, не должен зависеть от влажности водонасыщенных глин при их уплотнении. Однако на практике многие данные свидетельствуют об обратном, что привело исследователей к выводу о необходимости введения поправок в уравнение (5). Это связано в первую очередь с тем, что толщина ДЭС становится сопоставимой с размером пор и требуется учет перекрытия ДЭС различных глинистых частиц, для чего вводится поправочный коэффициент  $\gamma$ , имеющий разные значения [3]:

$$\zeta = \gamma\zeta', \quad (6)$$

где  $\zeta$  – истинное значение электрокине-

тического потенциала,  $\zeta'$  – значение электрокинетического потенциала, определенное по теории Гельмгольца – Смолуховского.

На основе теории термодинамики необратимых процессов Н.В. Чураевым и Б.В. Дерягиным (1966) было выведено уравнение, учитывающее взаимодействие диффузных слоев ДЭС с помощью введения поправочного множителя в классическое уравнение Гельмгольца – Смолуховского. Аналогичная формула с поправкой для коэффициента электроосмоса было получено Н.Ф. Бондаренко (1973), которое применимо к капиллярно-пористым системам, в том числе к глинистым грунтам. Согласно этому уравнению поправочный коэффициент  $\gamma$  можно определить следующим образом [3]:

$$\gamma = \frac{1}{1 - \frac{\delta}{H} \tanh \frac{H}{\delta}}, \quad (7)$$

где  $\delta$  – толщина дебаевской ионной атмосферы;  $H$  – зазор (расстояние) между сближающимися частицами.

Использование формулы (7) и ей подобных для оценки электрокинетического потенциала глинистых частиц осложняется отсутствием практических методов определения величин  $H$  и  $\delta$ , которые к тому же имеют разные значения в разных точках в связи с полидисперсностью глин и наличием контактов между частицами.

### Метод оценки параметров двойного электрического слоя на основе суспензионного эффекта ►

Концентрации ионов в пределах двойного электрического слоя и за его пределами значительно различаются, благодаря чему измеренные концентрации различных ионов в суспензии и в равновесном поровом растворе тоже будут различаться. Наиболее исследованным проявлением данного эффекта является суспензионный эффект, проявляющийся в различии измеряемых концентраций ионов водорода, что выражается в несовпадении величин рН в суспензии и равновесном поровом растворе. Величину суспензионного эффекта принято определять следующим образом [1, 3, 5–7]:

$$\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{суп}} - \text{pH}_{\text{раств}}, \quad (8)$$

где  $\text{pH}_{\text{суп}}$  – значение рН в суспензии;  $\text{pH}_{\text{раств}}$  – величина рН в равновесном растворе.

На величину суспензионного эффекта влияют те же факторы, что и на строение ДЭС. Среди них стоит отметить следующие факторы [3, 5]:

- *концентрация суспензии или влажность грунта*, с ростом которых суспензионный эффект ( $\Delta pH$ ) сначала увеличивается, а затем снижается, что может быть связано со степенью пептизации глинистых частиц [6] (однако в литературе содержатся противоречивые сведения);
- *концентрация порового раствора (электролита)*: увеличение которой приводит к снижению величины суспензионного эффекта [3];
- *минеральный состав и дисперсность*, так как различные глинистые минералы обладают разными удельной поверхностью, формой кристаллов и количеством изоморфных замещений, что определяет общий заряд частиц [3, 8] (однако в литературе содержатся противоречивые сведения);
- *величина pH порового раствора*, которая определяет перезарядку глинистых частиц и концентрацию электролита (за счет увеличения или уменьшения концентраций кислот и оснований) [8] (но зависимость суспензионного эффекта  $\Delta pH$  от pH для глинистых грунтов остается слабо изученной) [3];
- *время отстаивания суспензии* – этот фактор практически не изучен для глинистых грунтов [9].

Еще раз подчеркнем, что на величину суспензионного эффекта влияют те же факторы, что и на параметры двойных электрических слоев глинистых частиц, что позволяет оценивать эти параметры на основе суспензионного эффекта [1].

В частности, отрицательный заряд глинистых частиц способствует концентрированию вблизи их поверхности ионов водорода, что проявляется в отрицательных величинах суспензионного эффекта, а положительный заряд частиц, наоборот способствует концентрированию гидроксильных групп, что выражается в положительных величинах суспензионного эффекта. В точке нулевого заряда суспензионный эффект не регистрируется. Таким образом, *знак суспензионного эффекта соответствует знаку заряда глинистых частиц*.

Зависимость величины суспензионного эффекта  $\Delta pH$  от величины общего заряда частиц  $q$  является гораздо более сложной, но ее можно представить в виде некоторой функции  $\Delta pH = \Delta pH(q)$  [1].

Если предположить, что радиус сходимости разложения функции  $\Delta pH(q)$

в ряд Маклорена превосходит предполагаемые величины  $q$  (необходимым условием является конечность производной  $\Delta pH$  по  $q$  при  $q=0$ ), то функцию  $\Delta pH(q)$  можно заменить соответствующим рядом  $\sum_{n=0}^{\infty} (K_n q^n)$ . Из общих сведений о суспензионном эффекте известно, что при среднем заряде глинистых частиц, равном или близком к нулю, суспензионный эффект не проявляется, а значит можно считать, что коэффициент  $K_0$  равен нулю. Практически для всех глинистых грунтов средние заряды их частиц значительно меньше 1 Кл/г, а значит при общей массе глинистого грунта в суспензии не более 1 г членами  $q^n$  при  $n \geq 2$  также можно пренебречь ввиду их относительной малости [1].

Таким образом, в первом приближении можно предположить, что *величина суспензионного эффекта прямо пропорциональна общему заряду глинистых частиц* и коэффициентом пропорциональности служит некоторая константа  $K_{\Delta pH}$  (так называемая постоянная суспензионного эффекта). Эта постоянная зависит от температуры суспензии, ее объема, концентрации и pH электролита, но при соблюдении равенства этих параметров для суспензий различных глинистых грунтов ее также можно считать одинаковой. Важным следствием изложенного является то, что в суспензиях с одинаковыми концентрациями и электролитами величины суспензионного эффекта оказываются пропорциональными общему заряду частиц, а значит оказывается возможным сравнение средних зарядов глинистых грунтов на основе следующего равенства [1]:

$$\left(\frac{\Delta pH}{mq}\right)_{sol,C,T} = K_{\Delta pH} \equiv const, \quad (9)$$

где  $\Delta pH$  – величина суспензионного эффекта,  $m$  – масса навески грунта,  $\bar{q}$  – средний заряд глинистых частиц; нижний индекс sol,C,T обозначает постоянство электролита, концентрации суспензии и температуры.

Толщина двойного электрического слоя  $\delta$  согласно основным теориям (Гуи – Чепмена, Дебая – Гюккеля, Штерна и др.) приблизительно одинакова, не зависит от свойств частиц и определяется исключительно концентрацией раствора электролита. Согласно теории Гуи – Чепмена [10, 11] толщина ДЭС определяется следующим образом [1]:

$$\delta = \frac{1}{F} \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0 RT}{2\pi \sum_i Z_i^2 C_{\infty,i}}}, \quad (10)$$

где  $F$  – постоянная Фарадея;  $\epsilon \epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость среды;

$R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура,  $Z_i$  – заряд иона  $i$ ;  $C_{\infty,i}$  – концентрация иона  $i$  в условиях отсутствия электростатического потенциала.

С учетом того, что для определения суспензионного эффекта требуется измерить pH равновесного раствора ( $pH_{раст}$ ), *толщину двойного электрического слоя представляется возможным оценить сверху (оценить ее максимально возможную при данных условиях величину) следующим образом*:

$$\delta \lesssim \frac{1}{2F} \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0 RT}{\pi}} \times 10^{\frac{4-pH_{раст}-7}{2}} \approx \approx 389 \times 10^{\frac{|pH_{раст}-7|}{2}} \text{ м} \quad (11)$$

По сведениям о заряде глинистых частиц и толщине ДЭС можно оценить электростатический потенциал их поверхности  $\varphi_0$ . Этого не позволяет ни один из перечисленных ранее методов. Метод же суспензионного эффекта не требует движения частиц и их ДЭС относительно друг друга – следовательно, не нуждается в возникновении поверхности скольжения. На основе теории Гуи – Чепмена *электростатический потенциал  $\varphi_0$  можно оценить сверху следующим образом* [1]:

$$\varphi_0 = \frac{\bar{q}\delta}{\epsilon \epsilon_0} \lesssim \frac{\Delta pH}{mK_{\Delta pH}} \frac{1}{2F} \sqrt{\frac{RT}{\epsilon \epsilon_0 \pi}} \times 10^{\frac{4-pH-7}{2}} \approx \approx \frac{\Delta pH}{mK_{\Delta pH}} \times 542 \times 10^{\frac{|pH-7|}{2}} \quad (12)$$

Таким образом, на основе сведений о суспензионном эффекте представляется возможным оценить основные параметры ДЭС глинистых частиц. Также стоит отметить, что эксперимент по определению суспензионного эффекта может быть произведен в автоматическом режиме [1] с использованием технологии интернет-вещей [12], что делает дальнейшее развитие данного направления достаточно перспективным.

## Заключение

На основе суспензионного эффекта представляется возможным оценить основные параметры ДЭС наравне с классическими методами, такими как метод поверхностной проводимости, электрофорез и электроосмос, но в то же время для него не требуется применения специализированного оборудования или проведения сложных испытаний.

Классические методы предполагают движение диффузных частей двойных электрических слоев относительно глинистых частиц – следовательно, позволяют оценить не истинный потенциал

поверхности, а только электрокинетический потенциал ( $\zeta$ -потенциал), то есть потенциал на поверхности скольжения, положение которой до сих пор считается неясным. Метод же суспензионного эффекта не требует движения частиц и их ДЭС относительно друг друга, благодаря чему в отличие от классических методов позволяет оценить истинный потенциал поверхности, но не позволяет оценить потенциал на поверхности скольжения. 

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ►

1. Королёв В.А., Евтихов М.В. Методика определения суспензионного эффекта в глинистых грунтах // Грунтоведение. 2025. Т. 24. № 1. С. 43–49.
2. Злочевская Р.И., Королёв В.А. Электроповерхностные явления в глинистых породах. М.: Изд-во Московского университета, 1988. 177 с.
3. Королёв В.А. Теория электроповерхностных явлений в грунтах и их применение: монография (2-е изд., перераб. и доп.). М.: КДУ, Добросвет, 2023. 498 с. ISBN 978-5-7913-1302-7. DOI 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1302-7-2023-498. Текст: электронный. URL: bookonlime.ru.
4. Духин С.С., Дерягин Б.В. Электрофорез. М.: Наука, 1976. 332 с.
5. Королёв В.А. Лабораторные работы по электроповерхностным явлениям в грунтах. М.: ООО «Самполиграфист», 2022. 136 с.
6. Тронина С.Г., Королёв В.А. Оценка параметров двойного электрического слоя глин на основе суспензионного эффекта // Материалы XI Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов «Молодость. Интеллект. Инициатива» в 2-х т. Витебск, 2023. Т. 1. С. 164–166.
7. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. Ленинград: Химия, 1984.
8. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Грунтоведение / под ред. В.Т. Трофимова (6-е изд., переработ. и доп.). М.: Изд-во МГУ, 2005. 1024 с. ISBN 5-211-04848-2.
9. Евтихов М.В., Королев В.А. Суспензионные эффекты pH и Eh в каолиновой и иллитовой глинах // Материалы XXXII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2025». М.: Изд-во МГУ, 2025.
10. Chapman D.L. A contribution to the theory of electrocapillarity // Philosophical Magazine. 1913. Vol. 25. P. 475–481.
11. Gouy G. Sur la constitution de la charge électrique à la surface d'un électrolyte // Journal de Physique Théorique et Appliquée. 1910. Vol. 9. P. 457–468.
12. Евтихов, В.Г. Введение в интернет вещей: учебник / В.Г. Евтихов, Н.В. Евтихова, М.В. Евтихов. – Москва: Московский Политех, 2025. – 1 CD-R. – Загл. с титул. экрана. – Текст: электронный. ISBN 978-5-2760-2925-2.

## REFERENCES ►

1. Korolev V.A., Evtikhov M.V. Metodika opredeleniya suspenzionnogo effekta v glinistykh gruntakh [Method for determining the suspension effect in clayey soils] // Gruntovedenie. 2025. T. 24. № 1. S. 43–49 (in Rus.).
2. Zlochevskaya R.I., Korolev V.A. Elektropoverkhnostnye yavleniya v glinistykh porodakh [Electrosurface phenomena in clayey soils]. M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1988. 177 s. (in Rus.).
3. Korolev V.A. Teoriya elektropoverkhnostnykh yavleniy v gruntakh i ikh primenenie: monografiya [Theory of electrosurface phenomena in soils and their application] (2-e izd., pererab. i dop.). M.: KDU, Dobrosvet, 2023. 498 s. ISBN 978-5-7913-1302-7. DOI 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1302-7-2023-498. Tekst: elektronnyi. URL: bookonlime.ru (in Rus.).
4. Dukhin S.S., Deryagin B.V. Elektroforez [Electrophoresis]. M.: Nauka, 1976. 332 s. (in Rus.).
5. Korolev V.A. Laboratornye raboty po elektropoverkhnostnym yavleniyam v gruntakh [Laboratory works on electrosurface phenomena in soils]. M.: ООО «Самполиграфист», 2022. 136 s. (in Rus.).
6. Tronina S.G., Korolev V.A. Otsenka parametrov dvoynogo elektricheskogo sloya glin na osnove suspenzionnogo effekta [Evaluation of electric double layer parameters in clays based on the suspension effect] // Materialy XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i magistrantov "Molodost'. Intellekt. Initsiativa". Vitebsk, 2023. T. 1. S. 164–166 (in Rus.).
7. Fridrikhsberg D.A. Kurs kolloidnoy khimii [Course of colloid chemistry]. Leningrad: Khimiya, 1984 (in Rus.).
8. Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesenskiy E.A., Golodkovskaya G.A., Vasil'chuk Yu.K., Ziangirov R.S. Gruntovedenie [Soil and rock science] / pod red. V.T. Trofimova (6-e izd., pererab. i dop.). M.: Izd-vo MGU, 2005. 1024 s. ISBN 5-211-04848-2 (in Rus.).
9. Evtikhov M.V., Korolev V.A. Suspenzionnye efekty pH i Eh v kaolinovoy i illitovoy glinakh [Suspension effects of pH and Eh in kaolinite and illite clays] // Materialy XXXII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh "Lomonosov-2025". M.: Izd-vo MGU, 2025 (in Rus.).
10. Chapman D.L. A contribution to the theory of electrocapillarity // Philosophical Magazine. 1913. Vol. 25. P. 475–481.
11. Gouy G. Sur la constitution de la charge électrique à la surface d'un électrolyte [On the structure of electric charge at the surface of an electrolyte] // Journal de Physique Théorique et Appliquée. 1910. Vol. 9. P. 457–468 (in French).
12. Evtikhov, V.G. Vvedenie v internet veshchey: uchebnik / V.G. Evtikhov, N.V. Evtikhova, M.V. Evtikhov. – Moskva: Moskovskiy Politekh, 2025. – 1 CD-R. – Zagl. s titul. ekrana. – Tekst: elektronnyi. ISBN 978-5-2760-2925-2