

# ОСВЕТЛЕНИЕ сапонит-содержащей СУСПЕНЗИИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ КОАГУЛЯЦИИ

На основании измерений дзета-потенциала и размера частиц показано, что применение соли на основе двухвалентного катиона металла ( $MgCl_2$ ) ускоряет процесс осветления сапонит-содержащей пульпы. Подобран оптимальный режим осветления, рассчитана скорость процесса седиментации частиц твердой фазы.



## Введение

В 2002 г. в 100 км к северо-востоку от г. Архангельска началась опытно-промышленная разработка трубки «Архангельская» месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова. В процессе обогащения кимберлитовых руд песчано-глинистые пустые породы в обводненном состоянии направляются в хвостохранилище, где ежегодно складировается до 1 млн. т отходов. Вместе с тем, особенностью этого месторождения алмазов является значительное содержание в породах слагающих трубку глинистого минерала — сапонита. По данным ФГУП ВИМС (Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского) [1], приведенным за 2008-2010 гг. минеральный состав частиц суспензии, составляющих твердую фазу, характеризуется наличием следующих компонентов: непосредственно сапонита 63 %, кварца 10 %, доломита 10 %. Содержание остальных минералов (хлорит, гематит, кальцит, апатит и пр.) не превышает 2-3 %.

**А.С. Тутыгин\***, заведующий лабораторией, старший преподаватель кафедры композиционных материалов и строительной экологии, ФГАОУ ВПО Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

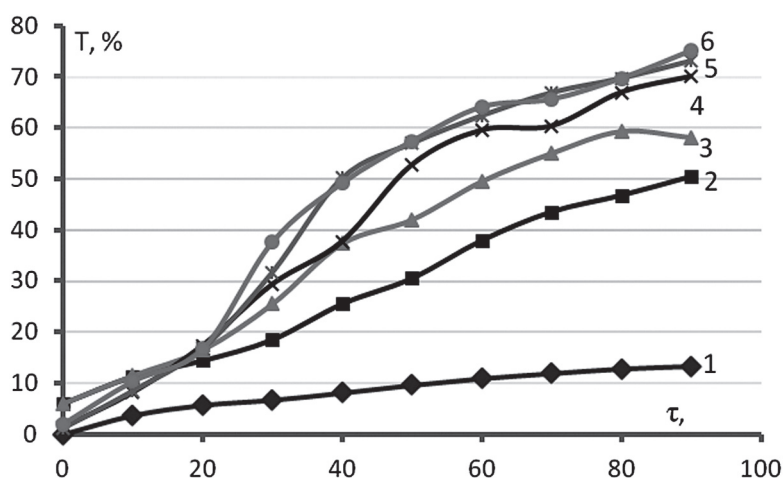
**А.А. Шинкарук**, кандидат химических наук, доцент кафедры строительной механики и сопротивления материалов, ФГАОУ ВПО Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Сапонит представляет собой глинистый минерал, слоистый силикат из группы монтмориллонита, который характеризуется следующим элементным составом:  $(Ca_{0,5}Na)_{0,3}(Mg,Fe)_3(SiAl)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$  [2] и обладает свойствами бентонитов. Это ценное минеральное сырье многоотраслевого использования: природный сорбент, обладает высокими адсорбционными ионообменными, каталитическими и фильтрационными свойствами.

Вместе с тем, при промышленной разработке месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова значительное содержание сапонита в сопутствующих породах вызывает определенные трудности, связанные с использованием оборотной воды. Данный факт вызван низкой скоростью осветления оборотной воды (до 0,1 см/сут) [3] и быстрым заполнением накопителя отходов обогащения (хвостохранилища). Следовательно, осветление сапонит-содержащей суспензии является важной задачей как для рационального использования водных природных ресурсов алмазодобывающей технологии, так и для выделения богатого сапонитом осадка — сырья для индустрии стройматериалов.

В исследованиях [3-6] показано, что процесс осветления оборотной воды (выделение твердой сапонит-содержащей фазы) подчи-

\*Адрес для корреспонденции: [tutygin@narfu.ru](mailto:tutygin@narfu.ru)



**Рис. 1.** Изменение коэффициента пропускания  $T$  (%) суспензии во времени ( $\tau$ ) при добавлении  $MgCl_2$  с концентрациями в реакционной среде (моль/л): 1 – холостой опыт, 2 –  $2,5 \times 10^{-3}$ ; 3 –  $5,0 \times 10^{-3}$ ; 4 –  $1,0 \times 10^{-2}$ ; 5 –  $1,5 \times 10^{-2}$ ; 6 –  $2,0 \times 10^{-2}$ .

няется классическим законам электролитной коагуляции, причем в качестве противоионов (ионов, вызывающих укрупнение и седиментацию частиц) необходимо использовать положительно заряженные частицы. Однако исследования [6] показали, что максимальная степень осветления суспензии при использовании однозарядных ионов ( $H^+$ ,  $Na^+$ ) достигает 67 %.

В рассматриваемой системе быстрое укрупнение частиц дисперсной фазы и их последующее оседание определяется величиной электрокинетического потенциала ( $\zeta$ -потенциала), который, в свою очередь, характеризует электростатический барьер, препятствующий нарушению седиментационно-диффузного равновесия системы. Поэтому целью настоящих исследований явилось изучение влияния вводимых в реакционную среду двухзарядных положительных противоионов на величину  $\zeta$ -потенциала, агрегативную устойчивость частиц дисперсной фазы и степень ее выделения (степень осветления сапонит-содержащей суспензии).

Для проведения экспериментов в качестве добавляемого электролита использовали раствор  $MgCl_2$ . Выбор данного электролита связан с тем, что водные растворы этой соли не подвержены процессу гидролиза, и, следовательно, расчетная концентрация противоионов ( $Mg^{2+}$ ), вводимая в систему, не требует учета потерь реакционных частиц на побочно протекающие химические трансформации. Кроме того, в работе [3] указано, что хлорид магния является эффективным осветлителем.

**А.М. Айзенштадт**, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой композиционных материалов и строительной экологии, ФГАОУ ВПО Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

**М.А. Фролова**, кандидат химических наук, доцент кафедры композиционных материалов и строительной экологии, ФГАОУ ВПО Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

На первом этапе исследований путем измерения динамики изменения мутности раствора [6,7] при внесении в систему различного количества соли  $MgCl_2$  определили оптимальную концентрацию последнего, добавление которой вызывает нарушение седиментационно-диффузного равновесия в реакционной среде. Оптические характеристики суспензии фиксировались на спектрофотометре СФ 2000 при длине волны  $\lambda = 460$  нм, т.к. коллоидные системы, подчиняясь закону Релея, значительно рассеивают коротковолновую часть спектра.

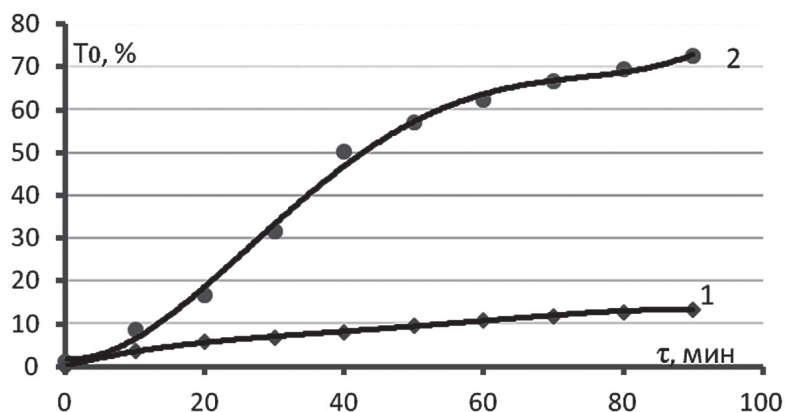
Методика проведения экспериментов заключалась в следующем: исходную сапонит-содержащую суспензию разбавляли дистиллированной водой в соотношении 1:500; готовили раствор  $MgCl_2$  с концентрацией 1 моль/л; отбирали 50 мл разбавленной суспензии и добавляли в нее 0,125 мл однозарядного раствора  $MgCl_2$  для получения концентрации электролита в реакционной среде 0,0025 моль/л; затем в течение 30 с тщательно перемешивали раствор, устанавливали кювету с образцом в спектрофотометр и фиксировали значение коэффициента пропускания ( $T$ ).

Повторяли опыт для концентраций раствора  $MgCl_2$  в исследуемой суспензии 0,005; 0,010; 0,015; 0,020 моль/л. Кроме того, параллельно определяли оптические характеристики исходной суспензии (холостой опыт). Температура исследуемых растворов была практически постоянна и имела значение  $20 \pm 2$  °С.

График функциональной зависимости  $T = f(\tau)$ , построенный по экспериментальным данным для серии экспериментов с добавлением разных концентраций  $MgCl_2$ , приведен на рис. 1.

По характеру представленных на рис. 1 зависимостей можно сделать вывод о том, что добавление к суспензии сапонита раствора соли  $MgCl_2$  значительно увеличивает скорость седиментации частиц твердой фазы, причем эффективное время действия электролита во всех сериях эксперимента составляет 80-90 мин. В случае однозарядных ионов  $H^+$  и  $Na^+$  [6] данный параметр составил 120 и 150 мин, соответственно.

Полученные данные, представленные на рис. 1, позволяют сделать вывод о том, что при времени выдержки суспензии 90 мин оптимальная концентрация электролита в суспензии составляет 0,015 моль/л, поэтому для последующих экспериментов использовали указанную концентрацию.



**Рис. 2.** Степень осветления в зависимости от времени выдержки реакционной смеси: 1 — при добавлении раствора  $MgCl_2$  (0,015 моль/л); 2 — холостое испытание.

Степень осветления суспензии рассчитывали по величине относительного изменения коэффициента пропускания ( $T_0$ ), которую определяли по следующему выражению:

$$T_0 = \frac{T_\tau - T_1}{T_{\max} - T_1} 100\%, \quad (1)$$

где  $T_\tau$  — значение коэффициента пропускания при времени выдержки суспензии  $\tau$ ;

$T_1$  — значение коэффициента пропускания в начальный момент времени;

$T_{\max}$  — максимально возможное значение осветления ( $T_{\max} = 1$ ).

Данные, представленные на рис. 2, показывают, что за 90 мин эксперимента степень осветления исследуемой суспензии при концентрации электролита 0,015 составляет 75 %. (в сравнении с результатами [6] для  $H^+$  — 67 %, для  $Na^+$  — 48 %). В холостом испытании за этот период времени степень осветления суспензии не превысила 13 %.

Экспериментальные данные позволили рассчитать скорость осветления суспензии ( $V = dT/d\tau$ ). С этой целью была проведена аппроксимация полученных зависимостей (рис. 2) различными математическими функциями. Это позволило установить, что наиболее адекватно экспериментальные данные описываются полиномом четвертой степени:

**Т.А. Махова**, кандидат химических наук, доцент кафедры композиционных материалов и строительной экологии, ФГАОУ ВПО Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

**М.П. Боброва**, лаборант-исследователь, студентка ФГАОУ ВПО Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

$$T_0 = a1 \cdot \tau^4 + a2 \cdot \tau^3 + a3 \cdot \tau^2 + a4 \cdot \tau + b. \quad (2)$$

В табл. 1 приведены значения коэффициентов данного уравнения для холостых испытаний и испытаний с оптимальной концентрацией электролита.

Производная выражения (2) по времени представляет собой текущую скорость процесса осветления суспензии. Данные, приведенные на рис. 3, показывают, что максимальная скорость осветления суспензии при введении электролита имеет значение  $1,31 \text{ мин}^{-1}$ , которое достигается уже через 30 мин после введения 0,015 моль/л  $MgCl_2$ . К временному интервалу 90 мин скорость процесса осветления суспензии практически равна нулю, что свидетельствует о завершении седиментации частиц в данных условиях. В отличие от этого, результаты расчета текущей скорости самопроизвольного осветления суспензии показали практически равномерное увеличение данного параметра, который достигает своего максимума к 90 мин эксперимента ( $1,05 \text{ мин}^{-1}$ ).

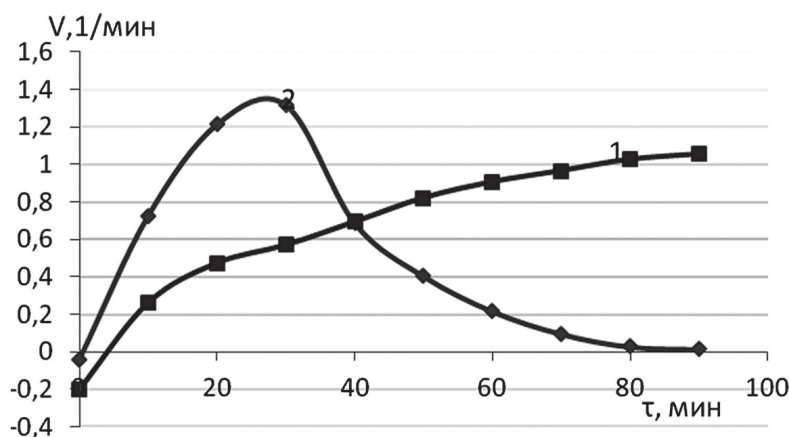
Параллельно проводимым экспериментам по осветлению исследуемой суспензии методами измерения динамического и электрофоретического светорассеяния на анализаторе размера субмикронных частиц и дзета-потенциала DelsaNano определяли размер частиц (диаметр,  $D$ ) и величину  $\zeta$ -потенциала. Протоколы испытаний приведены на рис. 4 и 5. Полученные экспериментальные результаты представлены в табл. 2.

Экспериментальные результаты, представленные на рис. 3 и в табл. 2, на наш взгляд, хорошо согласуются. Так, абсолютная величина дзета-потенциала частиц дисперсной фазы исследуемой суспензии имеет значение меньше чем 35 мВ. Для большинства зольей это значение потенциала является критическим, т.е. если  $\zeta > |35| \text{ мВ}$ , то коагуляция не наблюдается. Коагуляция в коллоидных системах наступает значительно раньше, чем золь достигает изоэлектрического состояния ( $\zeta$ -потенциала равен нулю) и идет тем быстрее, чем ниже значения дзета-потенциала [7, 8].

**Таблица 1**

**Значения коэффициентов уравнения (2)**

Концентрация электролита, моль/л	Коэффициенты				
	$a1$	$a2$	$a3$	$a4$	$b$
0 (холостой опыт)	$-4 \times 10^{-7}$	$9 \times 10^{-5}$	$-6,7 \times 10^{-3}$	$34,9 \times 10^{-2}$	1,06
0,015	$6 \times 10^{-6}$	$-12 \times 10^{-4}$	$68,9 \times 10^{-3}$	$-19,9 \times 10^{-2}$	3,49



**Рис. 3.** Изменение скорости седиментации во времени при добавлении раствора  $MgCl_2$ : 1 — холостые испытания; 2 — при добавлении раствора  $MgCl_2$  (концентрация 0,015 моль/л).

В нашем случае сапонит-содержащие частицы, имея поверхностный заряд порядка  $\zeta = -20$  мВ, способны самопроизвольно укрупняться, преодолевая электростатический барьер за счет сил взаимного притяжения. Однако данный процесс протекает с невысокой скоростью. Добавление электролита вызывает резкое уменьшение величины поверхностного заряда частиц.

Частицы достигают практически изоэлектрического состояния  $\zeta = -(7 \div 10)$  мВ, что вызывает значительное увеличение их размера за первые 30 мин и, как следствие, ускорение процесса осветления суспензии. При этом необходимо заметить, что индекс полидисперсности исходной суспензии значительно повышается после добавления в нее

электролита, что может свидетельствовать о наличии в системе как крупных, способных быстро седиментировать, образований, так и не больших по размерам частиц, для которых характерна медленная седиментация. Следует обратить внимание на факт, связанный с наличием максимума размера частиц при 30 мин. На наш взгляд, это можно объяснить значительным уменьшением частичной концентрации раствора, что, в свою очередь, приводит к уменьшению контактов между частицами, приводящих к их укрупнению.

Полученные экспериментальные данные позволили рассчитать истинную скорость седиментации частиц ( $U$ ) исследуемой суспензии. Так, исходя из классических положений теории седиментационной устойчивости коллоидных систем [7, 8] и учитывая, что суспензии с достаточно большими частицами являются кинетически неустойчивыми образованиями можно записать

$$U = \frac{2D^2(d - d_0)g}{27\eta}, \quad (3)$$

где  $D$  — диаметр частицы;  
 $g$  — ускорение силы тяжести;  
 $d$  и  $d_0$  — плотности сапонит-содержащей глинистой частицы и воды ( $0,998 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) [9];

$\eta$  — вязкость дисперсионной среды ( $1,005 \times 10^{-3}$  Пас [10]).

Плотность вещества дисперсной фазы определяли после его предварительного выделения, высушивания и размола на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 до размера 1 мкм стандартным методом [11]. Так, плотность сапонит-содержащей твердой фазы составила  $2,555 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

**Таблица 2**

**Значения  $\zeta$ -потенциала и размера частиц суспензии**

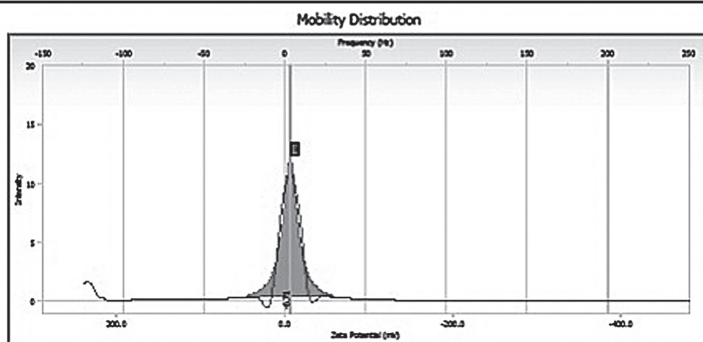
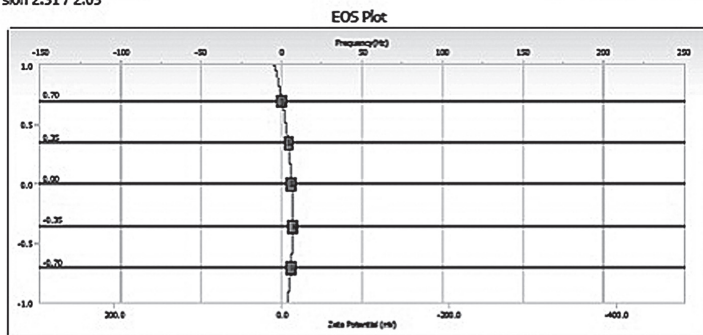
Концентрация электролита, моль/л	Время выдержки, мин	$\zeta$ -потенциала, мВ	D, нм	Индекс полидисперсности
0	0	-20,62	2300±100	0,891
	30	(-16,78)÷(-19,27)		0,750
	60			0,690
	90		2500	0,653
	120		2700	0,611
0,015	0		-20,35	2700
	30	(-6,71)÷(-10,36)	5200	1,484
	60		3600	0,985
	90		3600	0,928
	120		3700	0,991

EOS Plot / Distribution Graph

S/N : 130510

User : Common	Group :	Repetition : 1/1
Date : 6/21/2010	File Name : s MgCl2 t=120 (2)_20100621_211438	
Time : 21:14:38	Sample Information :	
SOP Name : SOP(New)	Security : No Security	

Version 2.31 / 2.03



Measurement Results

Zeta Potential	: -6.71	(mV)	Doppler shift	: 3.49	(Hz)
Mobility	: -5.176e-005	(cm <sup>2</sup> /Vs)	Base Frequency	: 121.6	(Hz)
Conductivity	: 6.7581	(mS/cm)			
Zeta Potential of Cell			Diluent Properties		
Upper Surface	: -15.02	(mV)	Diluent Name	: WATER	
Lower Surface	: 0.31	(mV)	Temperature	: 24.4	(°C)
Cell Condition			Refractive Index	: 1.3329	
Cell Type	: Disposable		Viscosity	: 0.9001	(cP)
Avg. Electric Field	: -13.97	(V/cm)	Dielectric Constant	: 78.5	
Avg. Current	: -18.74	(mA)			

**Рис. 5.** Пример протокола определения дзета-потенциала на анализаторе DelsaNano.

По уравнению (3) рассчитывали истинные скорости седиментации частиц сапонит-содержащей суспензии в случаях холостого опыта и опыта с добавлением электролита. Так, самопроизвольное осаждение частиц твердой фазы характеризуется практически постоянной скоростью, равной  $2,12 \div 2,95$  см/час. При введении в суспензию  $MgCl_2$  концентрацией  $1,5 \times 10^{-2}$  моль/л, скорость седиментации частиц увеличивается до  $10,91$  см/час.

Проблема осветления так называемых «хвостов» горно-обогатительных фабрик и заводов по добыче полезных ископаемых существует на протяжении всего времени существования таких фабрик [12].

Вместе с тем, введение дополнительного электролита в систему обратного водоснабжения может изменить технологическую составляющую среды. Для повторного использования осветленной воды или для ее сброса в водоемы необходимо иметь представление о содержании загрязняющих веществ, т.к. существуют ПДК промышленных стоков для сбросов в водоемы. Ввод в эксплуатацию предприятий, цехов и технологий возможен только при наличии утвержденных в установленном порядке ПДК и методов определения веществ в воде [13].

В связи с этим, в продолжение исследований определяли основные показатели качества осветленной воды после добавления электролита-коагулянта. Из основных показателей были выбраны следующие: концентрация хлоридов, сульфатов; определение взвешенных веществ, жесткости воды, щелочности и величины рН. Все определения выполнялись согласно установленным методикам [14-17].

Определяемые показатели приведены в табл. 3.

Анализируя полученные данные, приведенные в табл. 3, можно утверждать, что осветленная вода по рассматриваемым показателям соответствует требованиям, предъявляемым к сточным водам после очистки [13].

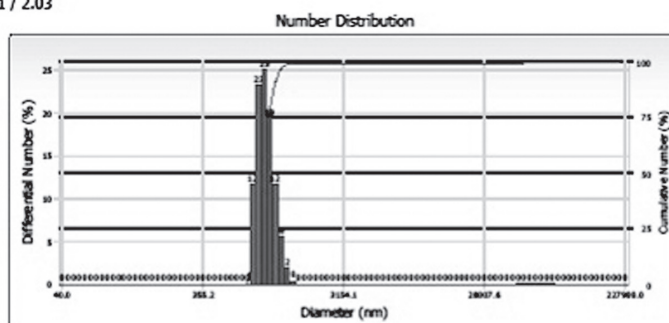
Добавление хлорида магния в промышленных масштабах, безусловно, должно быть контролируемым, несмотря на то, что в лабораторных условиях этот параметр находится в пределах нормы. Следует отметить, что хлорид магния — вещество нетоксичное, входит в состав морских солей, присутствует в земной коре в виде минерала «бишофита», широко используется во многих областях промышленности, а также в медицине, в пищевой промышленности в качестве зарегистрированной пищевой добавки и является наименее токсичной формой хлоридов [18].

## Заключение

Самопроизвольное осаждение сапонит-содержащей твердой фазы происходит со скоростью, не превышающей  $3$  см/час, причем максимальная степень выделения твердой фазы достигает  $13\%$ . Частицы дисперсной фазы характеризуются значением дзета-потенциала, близким к критическому, что делает дисперсную фазу седиментационно устойчивой.

Number Distribution		S/N : 130510
User : Common	Group :	Repetition : 1/1
Date : 6/21/2010	File Name : MgCl2 t=120 (2)_20100621_210822	
Time : 21:08:22	Sample Information :	
SOP Name : SOP(1)		Security : No Security

Version 2.31 / 2.03



Distribution Results (Contin)			Cumulants Results		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Diameter (d)	:	5195.1 (nm)
1	955.4	129.4	Polydispersity Index (P.I.)	:	1.484
2	62,716.1	11,464.8	Diffusion Const. (D)	:	9.469e-010 (cm <sup>2</sup> /sec)
3	0.0	0.0		:	
4	0.0	0.0	Measurement Condition	:	
5	0.0	0.0	Temperature	:	25.0 (°C)
Average	1,454.7	5,627.2	Diluent Name	:	WATER
Residual	5.815e-003	(O.K)	Refractive Index	:	1.3328
			Viscosity	:	0.8878 (cP)
			Scattering Intensity	:	8082 (cps)

**Рис. 4.** Пример протокола определения размера частиц на анализаторе DelsaNano.

**Таблица 3**  
Концентрация загрязняющих веществ

Наименование вещества (показателя)	Концентрация в воде (значение)
Взвешенные вещества	0,0014 мг/дм <sup>3</sup>
Хлориды	210±19 мг/дм <sup>3</sup>
Водородный показатель	9,0
Свободная щелочность	0,8 мг/дм <sup>3</sup>
Общая щелочность	3,0 мг/дм <sup>3</sup>
Временная жесткость	4,76 мг-экв
Общая жесткость	6,2 мг-экв Ca и Mg
Сульфаты	344±52 мг/дм <sup>3</sup>

Введение в суспензию электролита с двухзарядным противоионом позволяет снизить значение дзета-потенциала до состояния, близкого к изоэлектрическому, что значительно смещает седиментационно-диффузное равновесие в сторону укрупнения частиц и ускоренной их седиментации.

Методом электролитной коагуляции можно увеличить степень выделения твердой фазы (осветления оборотной воды), доведя ее до 75 % в течение 90 мин.

Расчитанные значения истинных скоростей седиментации частиц, а также методический подход к их определению могут являться основой технологии выделения сапонит-содержащего материала для предприятий строительной индустрии и осветления оборотной воды предприятий горнодобывающей промышленности.

### Литература

1. Коршунов А.А. Геоэкологическое обоснование складирования и использования отходов обогащения кимберлитовых руд (на примере месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова). Дисс.... канд. техн. наук. Архангельск, 2010. 125 с.
2. Аполлонов В.Н. Сапонит из месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова / В.Н. Аполлонов,

В.В. Вержак, К.В. Гаранин, В.К. Гаранин, Г.П. Кудрявцева, В.Г. Шлыков // Геология и разведка. 2003. №3. С. 20-37.

3. Осипов В.И. Экологические проблемы разработки алмазов месторождения им. М.В. Ломоносова // Мат. межд. конф. «Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения». Том 1. Архангельск: Изд-во «Правда Севера», 2002. С. 32-42.

4. Дементьев Ю.А. Электролитная коагуляция сапонит-содержащих глинистых минералов / Ю.А. Дементьев, А.М. Айзенштадт, А.Л. Невзоров, М.А. Айзенштадт, А.С. Тутыгин // Наука северному региону (сборник трудов). Вып. 83, Архангельск: Изд-во САФУ, 2010. С. 129-137.

5. Айзенштадт М.А. Электрокинетические свойства сапонит-содержащих глинистых минералов / М.А. Айзенштадт, А.С. Тутыгин, А.М. Айзенштадт, Т.А. Махова // Сб. докл. Межд. науч.-пр. конф. «Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов. Ч. 1 «Наносистемы в строительном материаловедении». Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. С. 8-12.

6. Тутыгин А.С. Влияние природы электролита на процесс коагуляции сапонит-содержащих глинистых минералов / А.С. Тутыгин, М.А. Айзенштадт, А.М. Айзенштадт, Т.А. Махова // Геоэкология. 2012. — М. №5. С. 470-474.

7. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. М.: Химия. 1964. 574 с.

8. Айзенштадт А.М. Коллоидная химия (свойства коллоидно-дисперсных систем): Учебное пособие / А.М. Айзенштадт, К.Г. Боголицын. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 116 с.

9. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой. Изд. 8-е перераб. Л: Химия, 1983. 232 с.

10. Павлов К.Ф.. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии:

**Ключевые слова:** электролитная коагуляция, сапонит-содержащая суспензия, электрокинетический (дзета)-потенциал, степень осветления

Учебное пособие для ВУЗов / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. Под ред. П.Г. Романкова. 11-е изд., стереотипное. Перепечатка с изд. 1987 г. М.: ООО «РусМедиаКонсалт», 2004. 576 с.

11. ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Изд-во стандартов, 1985. 19 с.

12. Морозова О.В. Разработка метода снижения загрязнения окружающей среды стоками хвостохранилищ с применением технологии кислотного выщелачивания: Дис... канд. техн. наук. М. 2007. 115 с.

13. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.689-98. Минздрав России. Москва. 1998.

14. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Количественный химический анализ вод: методика выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом. М.1997.

15. ПНД Ф 14.1:2.111-97. Количественный химический анализ вод: методика выполнения измерений массовой концентрации хлорид-ионов в пробах природных и очищенных сточных вод меркуриметрическим методом. М. 1997.

16. ПНД Ф 14.1:2.242-07. Количественный химический анализ вод: измерение свободной и общей щелочности в природных и сточных водах методом потенциометрического титрования. М. 2007.

17. ПНД Ф 14.1:2.159-2000. Количественный химический анализ вод: методика выполнения измерений массовой концентрации сульфат-ионов в пробах природных и сточных вод турбидиметрическим методом. М. 2000.

18. Магний хлористый технический, бисофит. Электронный ресурс: [http://www.flevel.ru/materials/materials\\_bishofit/bishofit/](http://www.flevel.ru/materials/materials_bishofit/bishofit/)



A.S. Tutygin, A.A. Shinkaruk, A.M. Aizenshtadt, M.A. Frolova, T.A. Makhova, M.P. Bobrova

## CLARIFICATION OF SAPONITE-CONTAINING SUSPENSION USING ELECTROLYTIC COAGULATION

Acceleration of clarification of saponite-containing suspension using salt of bivalent metal-cation ( $MgCl_2$ ) was revealed based on measurements of electrokinetic potential and particle size. Optimal clarification regime was selected and speed of the sedimentation was calculated.

**Key words:** electrolytic coagulation, saponite-containing suspension, electrokinetic potential, clarification rate