

УДК 553.611

ОЦЕНКА СМАЧИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД, ОБРАБОТАННЫХ КОМПЛЕКСНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ АЛЮМИНИЯ

Пащенко А. А., Ящеренко О. Г., Пащенко А. В., Тихолиз А. М.
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Проведені вимірювання кута змочування і відпрацьована методика вимірювань з використанням веб-камери і ПК. Встановлена залежність тривалості обробки глинистих порід від їх фільтраційних характеристик.

Conducted measuring of corner of moistening and developed method of measuring with the use of web-chamber and the personal computer. Detected dependence of duration of treatment of clay rocks with properties of filtrations.

Оползни это смещение масс горных пород под влиянием сил тяжести, вызванное нарушением равновесия при их подмыве, а также снижением прочности пород при выветривании, переувлажнении осадками или подземными водами [1].

Характер взаимодействия поверхности глинистых минералов с водой определяется соотношением сил межмолекулярных взаимодействий воды и глины. Если молекулы воды взаимодействуют с молекулами породы сильнее, чем между собой, то вода растекается по поверхности глины и смачивает ее. Если взаимодействие ослаблено, то полного смачивания поверхности (и стенок пор) не происходит, и глина считается более водостойкой.

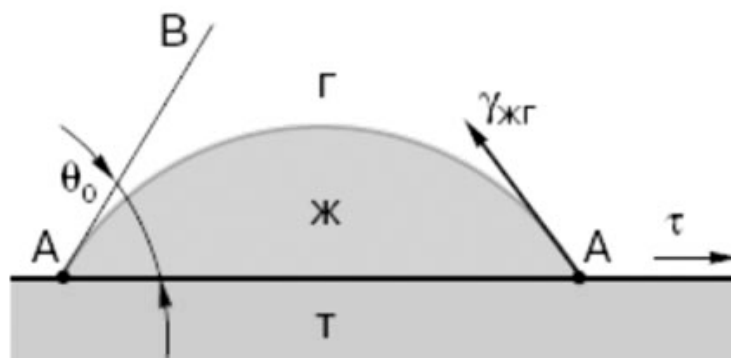
В зависимости от соотношения величин молекулярных сил капли воды образуют с поверхностью твердого тела равновесный угол, который называют краевым углом, или углом смачивания.

Краевой угол может служить количественным показателем смачивания и водостойкости глин.

Цель работы – оценка влияния комплексных ионов алюминия на угол смачивания и водостойкость оползнеопасных глинистых пород.

При изучении процесса взаимодействия поверхности глинистых минералов с водой устанавливаются показатели, по изменению которых можно контролировать результаты физико-химической обработки глинистых минералов.

Краевой угол θ или $\cos \theta$ является характеристикой гидрофильности или гидрофобности поверхности образцов. Он определяется как угол между касательной AB , проведенной к поверхности смачивающей жидкости и смачиваемой поверхностью твердого тела AA , при этом всегда отсчитывается от касательной в сторону жидкой фазы. Касательную AB проводят через точку соприкосновения трех фаз: твердой фазы (поверхности), жидкости (дистиллированной воды) и газа (воздуха), показанную на рис. 1.



θ_0 – краевой угол; (ж) – жидкость; (т) – твердая поверхность; (г) – третья фаза – газ

Рис. 1. Определение краевого угла

Согласно стандартным методикам [2-4] при исследовании смачивания поверхностей равновесный краевой угол определяют по уравнению Юнга

$$\cos \theta = \frac{\sigma_1 - \sigma_{12}}{\sigma_2}, \quad (1)$$

где θ – краевой угол;

σ_1 – удельная свободная поверхностная энергии твердого тела на границе с газом, Дж/м² (Н/м);

σ_2 – удельная свободная поверхностная энергия жидкости на границе с газом, Дж/м² (Н/м);

σ_{12} – коэффициент поверхностного натяжения твердого тела в контакте со смачивающей жидкостью, Дж/м² (Н/м).

Определение работы смачивания и работы адгезии. Согласно уравнению Дюпре-Юнга работа адгезии определяется по величине экспериментально определенного угла смачивания θ :

$$P_a = \sigma \cdot (1 + \cos \theta), \text{ при } \theta < 90^\circ, \quad (2)$$

где P_a – работа адгезии Н/м;

σ – поверхностное натяжение на границе жидкость-газ, равное для воды 72,75 Н/м.

Зная угол смачивания, можно определить работу смачивания:

$$P_c = \sigma \cdot \cos \theta. \quad (3)$$

Краевые углы определяли методом проектирования капли воды на экран, где на планшете экрана было закреплено приспособление для измерения краевых углов смачивания.

Измерения показателей смачивания проводили по технологии измерения краевого угла при помощи тензиометра *EasyDrop* [5]. Образец глинистого материала был помещен на столик с подъемным механизмом и установлен в положении относительно объектива цифрового фотоаппарата согласно [4]. На поверхность глинистого образца наносили каплю воды и записывали ее цифровое изображение, которое переносили в ПК. Программное обеспечение позволило рассчитать значения краевого угла и показатели смачивания. Вычисленные значения краевых углов смачивания представлены в таблицах 1 – 3, а исходные фотографии образцов глины показаны на рис. 2 – 4.

Таблица 1

Результаты измерения краевого угла образца
 глинистого минерала № 1

Образец	Краевой угол, град	Работа адгезии, Н/м ²	Работа смачивания, Н/м ²
Глина № 1 вода, 2 с	12	143,9	71,16
Глина № 1 вода, 1 мин.	9	144,6	71,86
Глина № 1 ПС, 5 с	21	140,7	67,92
Глина № 1 ПС, 1 мин.	18	141,9	69,19
Глина № 1 ПС (2 ч.), 5 с	8	144,8	72,04
Глина № 1 ПС (2 ч.), 1 мин.	5	145,2	72,47
Глина № 1 ПС (4 ч.), 5 с	8	144,8	72,04
Глина № 1 ПС (4 ч.), 1 мин.	5	145,2	72,47
Глина № 1 ПС (1 сут.), 5 с	6	145,1	72,35
Глина № 1 ПС (1 сут.), 1 мин.	10	144,4	71,65

Таблица 2

Результаты измерения краевого угла смачивания
 образца глинистого минерала № 2

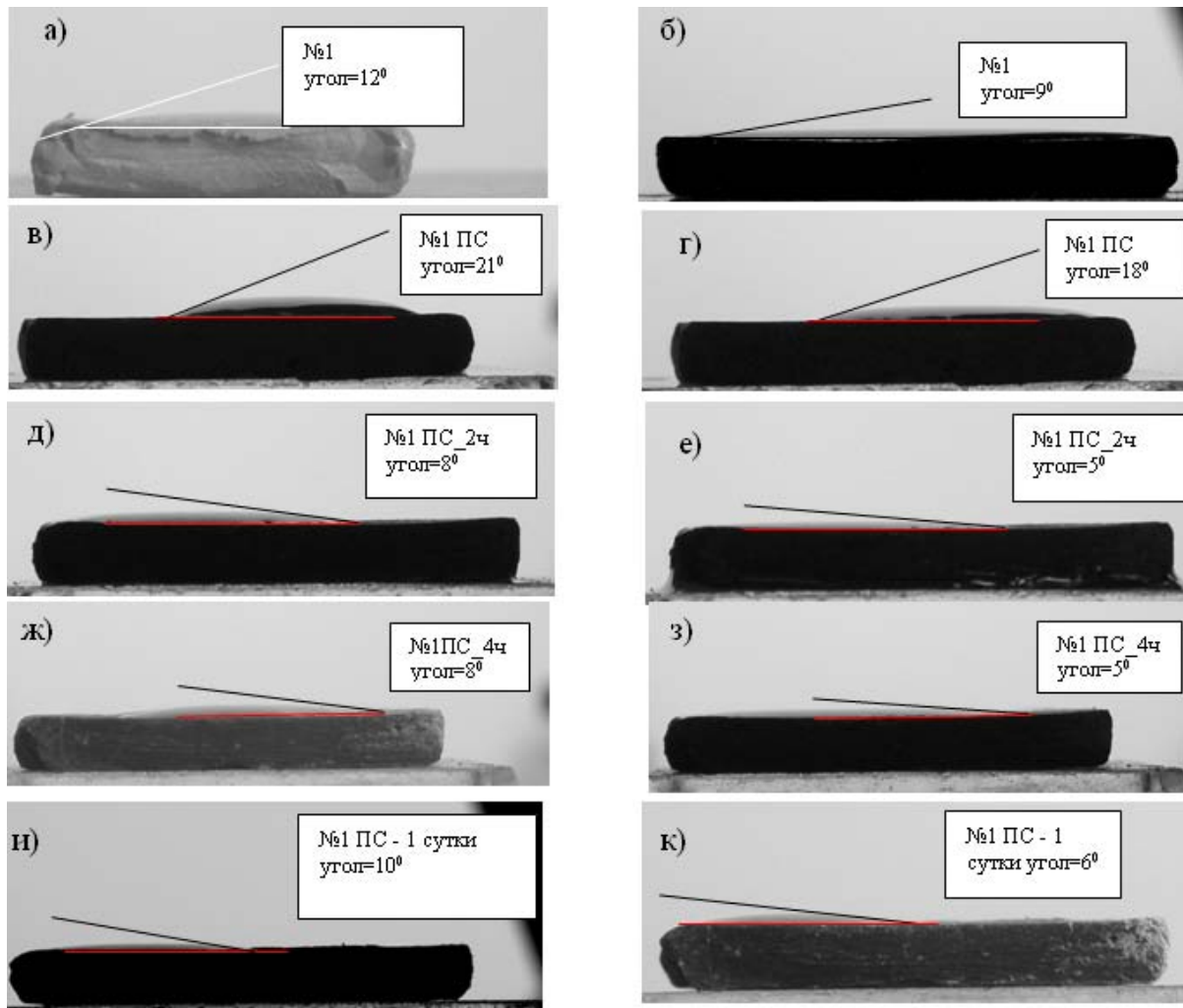
Образец	Краевой угол, град	Работа адгезии, Н/м ²	Работа смачивания, Н/м ²
Суглинок Азов № 2, 5 с	7	145,0	72,2
Суглинок Азов № 2, 1 мин.	6	145,1	72,4
Суглинок Азов № 2 ПС, 5 с	35	132,7	59,6
Суглинок Азов № 2 ПС, 1 мин.	27	137,6	64,8
Суглинок Азов № 2 ПС (2 ч.), 5 с	19	141,5	68,8
Суглинок Азов № 2 ПС (2 ч.), 1 мин.	18	141,9	69,2
Суглинок Азов № 2 ПС (4 ч.), 5 с	18	141,9	69,2
Суглинок Азов № 2 ПС (4 ч.), 1 мин.	16	142,7	70,0
Суглинок Азов № 2 ПС (1 сут.), 5 с	14	143,3	70,6

Образцы № 1 и 2 были изготовлены из глины и суглинка, отобранных из массива оползня, расположенного на берегу Азовского моря. Образец № 3 был изготовлен из суглинка, отобранного из массива оползня на берегу р. Северский Донец.

Краевые углы образцов определяли до и после их обработки раствором комплексного иона алюминия в течение двух и четырех часов, и через одни сутки.

Таблица 3
Результаты измерения краевого угла образца
глинистого минерала № 3

Образец	Краевой угол, град	Работа адгезии, Н/м ²	Работа смачивания, Н/м ²
Суглинок Северский Донец № 3 с водой, 5 с	8	144,8	72,1
Суглинок Северский Донец № 3 с водой, 1 мин.	6	145,1	72,4
Суглинок Северский Донец № 3 с ПС, 5 с	29	136,4	63,6
Суглинок Северский Донец № 3 с ПС, 1 мин.	19	141,5	68,8
Суглинок Северский Донец № 3 пропитка ПС (2 ч.), 5 с	14	143,3	70,6
Суглинок Северский Донец № 3 пропитка ПС (2 ч.), 1 мин.	10	144,4	71,7
Суглинок Северский Донец № 3 пропитка ПС (4 ч.), 5 с	9	144,6	71,9
Суглинок Северский Донец № 3 пропитка ПС (4 ч.), 1 мин.	8	144,8	72,0
Суглинок Северский Донец № 3 пропитка ПС (1 сут.), 5 с	7	145,0	72,2
Суглинок Северский Донец № 3 ПС с водой (1 сут.), 1 мин.	6	145,1	72,4



а, б) глина № 1 с каплей воды соответственно через 2 с и 1 мин.;

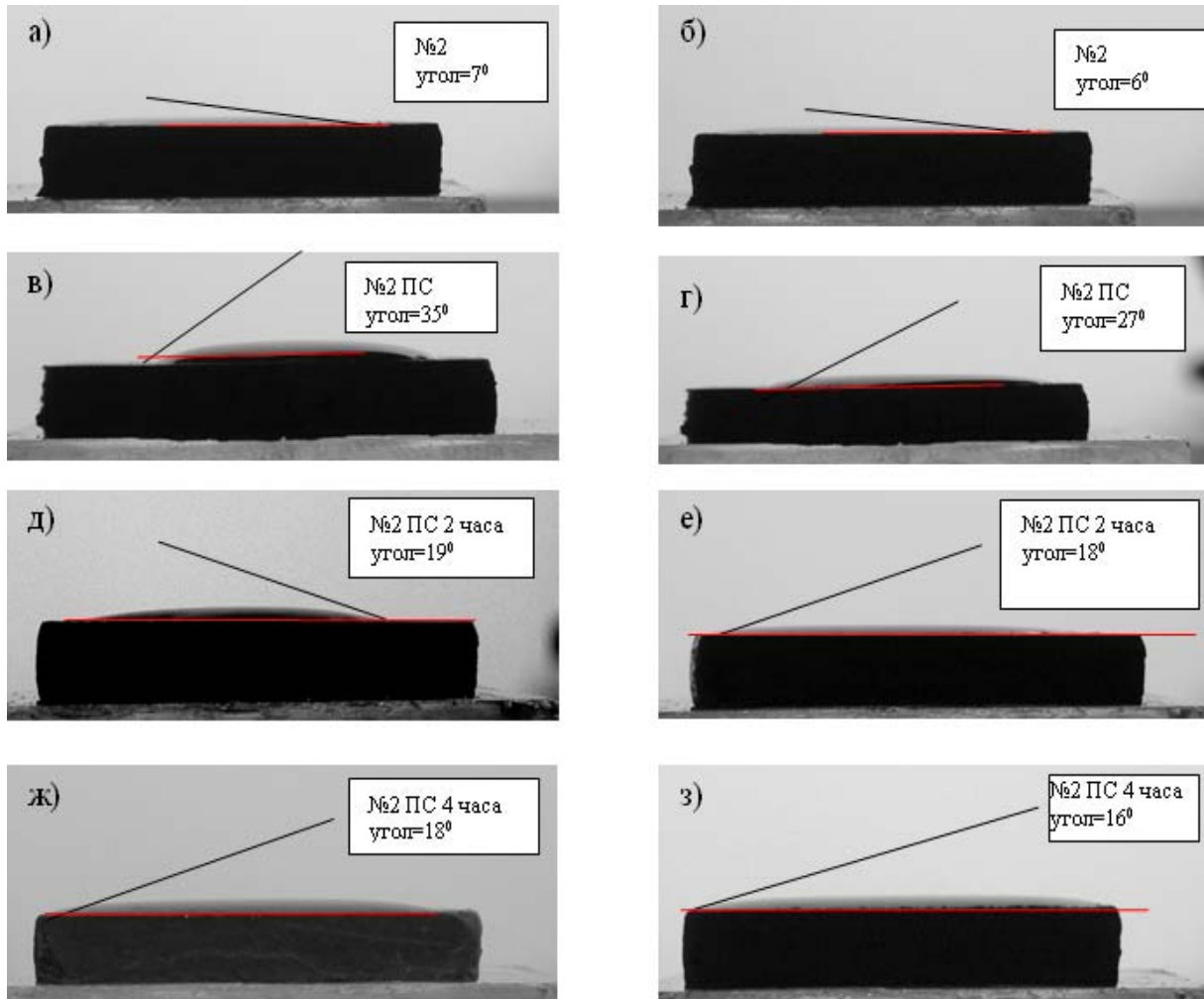
в, г) глина № 1 с каплей алюминиевого комплекса (ПС) соответственно через 5 с и 1 мин.;

д, е) глина № 1, обработанная в течение двух часов раствором ПС, с каплей воды соответственно через 5 с и 1 мин.;

ж, з) глина № 1, обработанная в течение четырех часов раствором ПС, с каплей воды соответственно через 5 с и 1 мин.;

и, к) глина № 1, обработанная в течение одних суток раствором ПС, с каплей воды соответственно через 5 с и 1 мин.

Рис. 2. Фотографии глины № 1, обработанной и необработанной водным раствором ПС, для измерения краевого угла капли



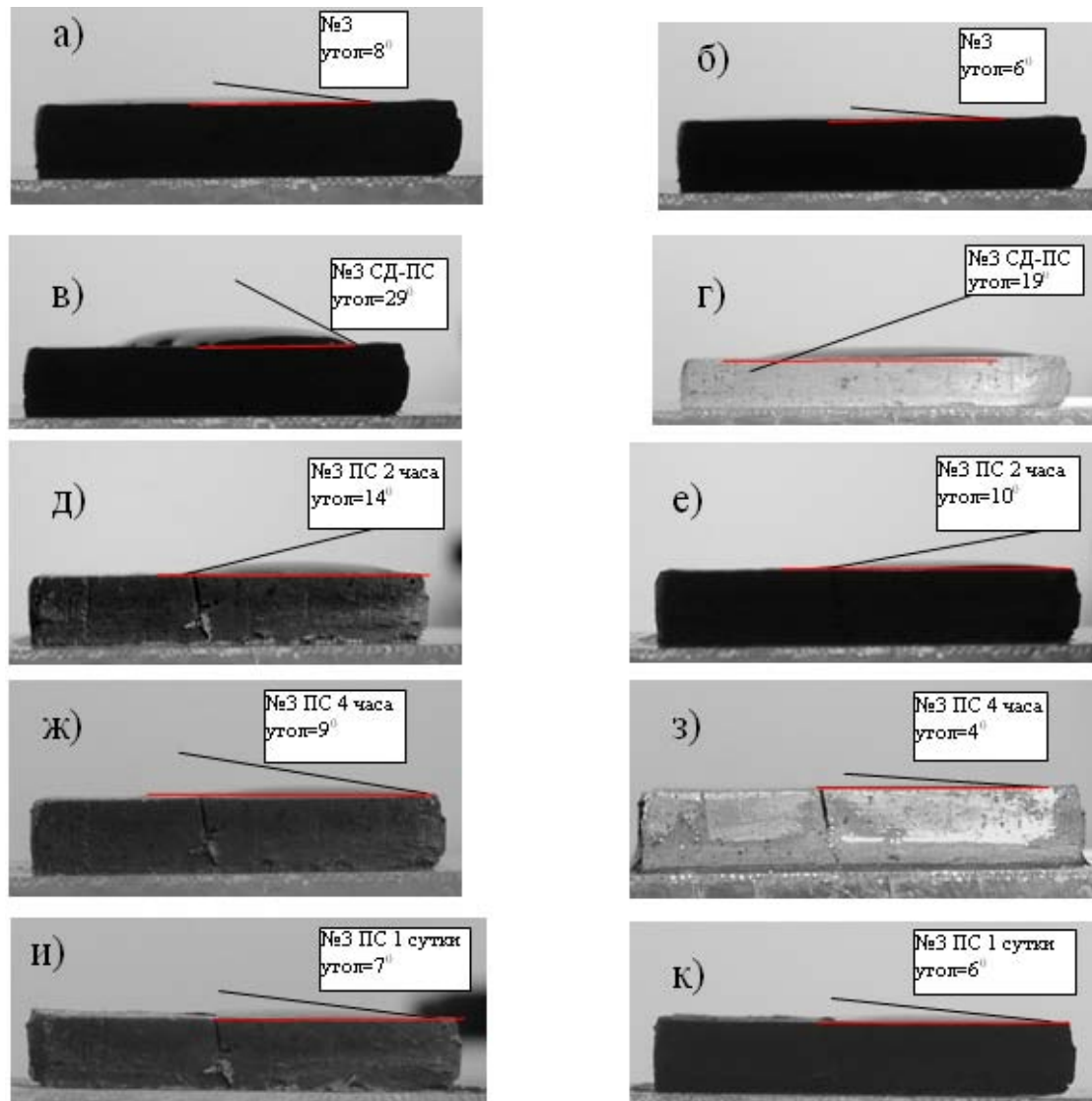
а, б) суглинок Азов № 2 с каплей воды соответственно через 5 с и 1 мин.;

в, г) суглинок Азов № 2 с каплей алюминиевого комплекса (ПС) соответственно через 5 с и 1 мин.;

д, е) суглинок Азов № 2, обработанный в течение двух часов ПС, с каплей воды соответственно через 5 с и 1 мин.;

ж, з) суглинок Азов № 2, обработанный в течение четырех часов ПС, с каплей воды соответственно через 5 с и 1 мин.

Рис. 3. Фотографии суглинка Азов № 2, обработанного и не-обработанного раствором ПС



а, б) суглинок Северский Донец № 3 с каплей воды соответственно через 5 с и 1 мин.;

в, г) суглинок Северский Донец № 3 с каплей алюминиевого комплекса (ПС) соответственно через 5 с и 1 мин.;

д, е) суглинок Северский Донец № 3, обработанный в течение двух часов ПС, с каплей воды соответственно через 5 с и 1 мин.;

ж, з) суглинок Северский Донец № 3, обработанный в течение четырех часов ПС, с каплей воды соответственно через 5 с и 1 мин.;

и, к) суглинок Северский Донец № 3, обработанный в течение одних суток ПС, с каплей воды соответственно через 5 с и 1 мин.

Рис. 4. Фотографии суглинка Северский Донец № 3, обработанного и необработанного раствором ПС

Выводы

Результаты измерений угла смачивания образцов глинистых минералов, расчет работы смачивания и работы адгезии показывают, что:

– работа смачивания поверхности глины раствором ПС на 2-3 Н/м, меньше, чем при смачивании водой, что приводит к повышению гидрофильности смачивающей поверхности глины и увеличению работы адгезии при пропитке 2 и 24 часа – 0,9 и 1,2 Н/м соответственно;

– для образцов суглинка из тела оползня, расположенного на берегу Азовского моря, работа смачивания поверхности раствором ПС меньше на 7-12 Н/м, чем при смачивании водой, т.е. обработка раствором ПС приводит к уменьшению гидрофильности и зависит от продолжительности обработки. А увеличение работы адгезии составляет при продолжительности обработки 2 и 24 часа – 3,4-1,6 Н/м соответственно;

– для образцов суглинка из тела оползня возле р. Северский Донец работа смачивания поверхности раствором ПС меньше на 3-8 Н/м, чем при смачивании водой, а при продолжительности обработки 2 и 4 часа, гидрофильность поверхности образца меньше исходной и составляет -1,5 и -0,2 Н/м. При увеличении продолжительности обработки происходит дальнейшее повышение гидрофильности поверхности на 0,2 Н/м, что больше работы адгезии поверхности исходного образца;

– обработка глинистых пород раствором ПС приводит к увеличению гидрофильности их поверхности, которую можно расположить в ряд: суглинки из тела оползня, расположенного на берегу Азовского моря (от -7,4 до -12,6 Н/м) – суглинки из тела оползня, р. Северский Донец (от -3,2 до -8,4 Н/м) и глины из тела оползня, расположенного на берегу Азовского моря возле пос. Рыбачий (от -2,0 до -3,2 Н/м);

– в общем случае обработка раствором ПС оползнеопасных массивов, расположенных как на Азовском побережье, так и на берегу Северского Донца, является эффективным способом борьбы с оползнями, так как приводит к повышению устойчивости оползнеопасного массива за счет увеличения гидрофобности сло-

ев суглинка или супеси и увеличения гидрофильности глинистой породы грунта, что приводит к снижению напора грунтовых вод.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Кнорре М. Е. Оползни и меры борьбы с ними / М. Е. Кнорре, С. К. Абрамов, И. О. Рогозин. – М., 1951. – 170 с.
2. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю. Г. Фролова и А. С. Гродского. – М.: Химия, 1986. – 216 с.
3. Айвазов Б. Б. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции / Б. Б. Айвазов. – М.: Высшая школа, 1973. – 208 с.
4. Измерение краевого угла смачивания поверхности мембран методами растекающейся капли и прикреплённого пузырька [Электронный ресурс] / Южный мембранный центр. – Режим доступа : <http://mtc.kubsu.ru/Method4.html>.
5. Измерение натяжения жидкостей [Электронный ресурс] / Девайсиз Групп. – Режим доступа : http://www.tensiometers.com.ua/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=27&Itemid=3.