

7. Горитов А. Н., Яковленко С. И. Выделение на изображении низкого разрешения параметрически задаваемых объектов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2017. № 2. С. 88–90.

8. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. № 6. P. 679–698.

9. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение = Computer Vision. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.

УДК 544.722+661.666.41+678

## ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА НА ТЕХНИЧЕСКОМ УГЛЕРОДЕ

### STUDY OF THE ADSORPTION OF POLYVINYL ALCOHOL ON CARBON BLACK

А. С. Чинкова<sup>1</sup>, А. В. Седанова<sup>1,2</sup>, М. С. Делягина<sup>1,2</sup>,  
О. А. Кохановская<sup>2</sup>, Л. Г. Пьянова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

<sup>2</sup>Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Институт катализа СО РАН, г. Омск, Россия

A. S. Chinkova, A. V. Sedanova, M. S. Delyagina, O. A. Kokhanovskaya, L. G. Pyanova  
Omsk State Technical University, Omsk, Russia

<sup>1</sup>Center for New Chemical Technologies IC SB RAS, Institute of Catalysis SB RAS, Omsk, Russia

**Аннотация.** Создание углеродных композиционных материалов с использованием водорастворимых полимеров является актуальным направлением прикладной химии. Изучены образцы технического углерода марок П514, N339 методом просвечивающей электронной микроскопии и титриметрическим методом. Проведены исследования адсорбционного взаимодействия в системе технической углерод-поливиниловый спирт. По результатам адсорбции сделан прогноз модуля упругости наполненных техническим углеродом криогелей и определен наиболее перспективный образец технического углерода.

**Ключевые слова:** технический углерод, поливиниловый спирт, адсорбция, криогели

DOI: 10.25206/2310-4597-2021-1-51-58

#### I. ВВЕДЕНИЕ

Разработка углеродных композиционных материалов с использованием водорастворимых полимеров, в частности, с использованием поливинилового спирта (ПВС) является до сих пор актуальным вопросом [1–3]. Согласно последним исследованиям установлено, что материалы, полученные на основе углеродных материалов, являются перспективными для применения их в медицине и химической промышленности [4–5].

Исследование равновесия, кинетики и динамики сорбции водорастворимых полимеров на поверхности технического углерода актуально также и в теоретическом плане, с точки зрения изучения закономерностей взаимодействия воды и водных растворов с сетчатыми полимерными системами. Процессы надмолекулярной организации в структуре полимеров, интенсивность взаимодействия молекул воды с макромолекулами в присутствии в такой системе технического углерода (ТУ) являются малоизученными.

При разработке наполненных криогелей требуется предварительно изучить физико-химические свойства технического углерода и получаемых на его основе материалов. Такой подход позволит выбрать наиболее подходящий образец технического углерода для получения криогелей с новыми функциональными свойствами – повышенной прочностью и гидрофобностью.

#### II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследование адсорбционных свойств технического углерода по отношению к поливинилового спирту. Оценка влияния физико-химических свойств технического углерода на свойства, получаемых на его основе криогелей.

## III. ТЕОРИЯ

Криогели поливинилового спирта – это макропористые вязкоупругие полимерные гелевые материалы, получаемые в результате «замораживания – выдерживания в замороженном состоянии – оттаивания» их гидрогелей (рис. 1).

Наполненные криогели представляют собой сложные композиционные системы, содержащие частицы дисперсной фазы, включенные в гелевую матрицу.

Выбор технического углерода в качестве дисперсной фазы в криогелях поливинилового спирта обоснован его доступностью, а также развитой структурой и гидрофобной поверхностью. Такие криогели могут быть использованы: при строительстве гидроизолирующих экранов для предотвращения нежелательной фильтрации воды через днища и стенки гидротехнических сооружений; при добыче и транспортировке нефти; в дорожном и промышленном строительстве.

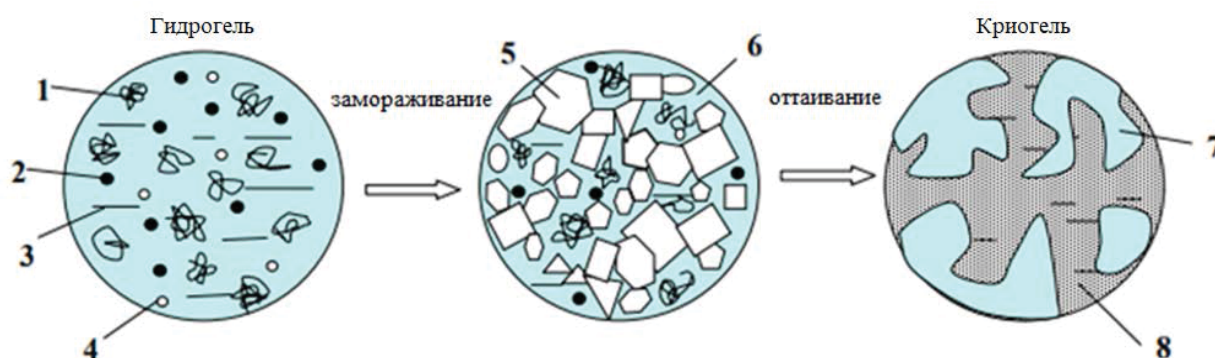


Рис. 1. Схема образования криогелей:

- 1 – полимерный предшественник; 2 – низкомолекулярные вещества или молекулярный предшественник;  
3 – растворитель; 4 – инициатор; 5 – поликристаллы замороженного растворителя; 6 – незамерзшая жидкая микрофаза; 7 – полимерная сетка гелевой фазы гетерофазного криогеля; 8 – микропоры

В качестве объектов исследования использовали образцы П514-среднеактивный ТУ (производство ОАО «Туймазыхуглерод») и N339-активный ТУ (производство ООО «Омсктехуглерод»). Основные физико-химические свойства образцов представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1  
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Показатели	N339	П514
Удельная внешняя поверхность по адсорбции азота STSA (ASTM D 6556), м <sup>2</sup> /г	88	44
Удельная поверхность по адсорбции азота NSA (ASTM D 6556), м <sup>2</sup> /г	91	50
Адсорбция дибутилфталата $A_{ДФ}$ (ГОСТ 25699.5-90), см <sup>3</sup> /100г	120	101
Средний диаметр первичных агрегатов (ASTM D 3449-04) $M$ , нм	166	177
Концентрация фенольных групп, мг-экв/г (Voehm)	0,02	0,03
Концентрация карбоксильных групп, мг-экв/г (Voehm)	0,03	0,08
Концентрация хинонных групп, мг-экв/г	0,73	0,03
Среднеарифметический диаметр первичных частиц $d_{ca}$ , нм	24,6	36,1

В работе использовали среднемолекулярный поливиниловый спирт изотактической структуры марки Сандиол 1399м (КНР, фирма Sandy), он обладает высокой скоростью набухания и большей вязкостью водных растворов. Физико-химические свойства ПВС Сандиол марки 1399м представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2  
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПВС ПО ГОСТ 10779-78

Физико-химические показатели	Значения показателей
Внешний вид	Порошок белого цвета
Растворимость в воде, %	99,5
Концентрация водородных ионов, рН	6,5
Степень полимеризации	1300

Для определения морфологических параметров агрегатов технического углерода использовали метод просвечивающей электронной микроскопии. Анализ основан на получении ЭМ изображений первичных агрегатов технического углерода с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM-2100 (JEOL, Япония) с пространственным разрешением 0,19 нм и ускоряющем напряжением 100 кВ [6, 7]. Источником электронов служил нагреваемый катод из гексаборида лантана. Обработку ЭМ-изображений осуществляли в программе Image Tool [8].

Определение карбоксильных и фенольных (протоногенных) групп проводили титриметрическим методом Voehm Н.Р. [9]. Метод заключается в проведении их селективной нейтрализации основаниями разной силы.

Суммарное количество карбоксильных и фенольных групп  $C_{ПГ}$  и карбоксильных групп  $C_{КГ}$  в мг-экв/г рассчитывали по формулам:

$$C_{КГ} = (V_{хол} - V_{раб}) N \cdot V_{исх} / V_{ф} \cdot m_{дг} \quad (1)$$

$$C_{ПГ} = (V_{хол} - V_{раб}) N \cdot x \cdot V_{исх} / V_{ф} \cdot m_{дг} \quad (2)$$

где  $V_{раб}$  и  $V_{хол}$  – объем кислоты, пошедшей на титрование в рабочем и холостом опытах, см<sup>3</sup>;

$V_{ф}$  и  $V_{исх}$  – объемы фильтрата и исходного раствора (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> или гидроокиси калия), взятые на титрование, см<sup>3</sup>;

$m_{дг}$  – масса технического углерода, г;

$N$  – нормальность раствора соляной кислоты.

Концентрацию фенольных групп определяли по формуле:

$$C_{ФГ} = K_{ПГ} - C_{КГ} \quad (3)$$

Хинонные группы определяли по их окислительно-восстановительной реакции с хлоридом олова [10].

Содержание хинонов  $C(XГ)$  в мг-экв/г определяли по формуле

$$C(XГ) = \frac{(V_1 - V_2) N_{I_2} \times V_{SnCl_2}}{m_{дг} \times a} \quad (4)$$

где  $V_{SnCl_2}$  – объем раствора SnCl<sub>2</sub>, см<sup>3</sup>;

$V_1$  – объём 0,01 н. раствора I<sub>2</sub>, пошедшего на титрование избытка SnCl<sub>2</sub> в холостом опыте, см<sup>3</sup>;

$V_2$  – объём 0,01 н. раствора I<sub>2</sub>, пошедшего на титрование избытка SnCl<sub>2</sub>, после взаимодействия с техническим углеродом;

$N_{I_2}$  – концентрация раствора йода, мг-экв/г;

$m_{дг}$  – навеска технического углерода, г;

$a$  – аликвотная часть фильтрата для титрования (1 см<sup>3</sup>).

Концентрацию полимера до и после адсорбции определяли оптическим методом на лабораторном интерферометре ЛИР-2. Для построения калибровочного графика для ЛИР-2 готовили водные растворы ПВС (общая масса каждого раствора ~ 10 г) с концентрацией от 0 до 10 мг/г, разбавлением рабочего раствора ПВС с концентрацией  $C_0$  ~ 10 мг/г весовым методом с точностью до 0,0002 г. Точную концентрацию  $C_i$  растворов ПВС, в мг/г, для калибровочного графика рассчитывали по формуле:

$$C_i = (m_3/m_3 + m_4) \cdot C_0 \quad (5)$$

где  $m_3$  и  $m_4$  – массы раствора ПВС с концентрацией  $C_0$  и воды, г.

Затем калибровочные растворы в порядке возрастания концентрации помещали в левую кювету интерферометра с толщиной поглощающего слоя 10 мм и измеряли разницу показателей преломления относительно дистиллированной воды, помещенной в правую кювету интерферометра.

По полученным данным строили калибровочный график, откладывая по оси абсцисс концентрацию раствора ПВС в мг/г, а по оси ординат – показания интерферометра, и определяли коэффициенты уравнения для расчёта равновесной концентрации.

Адсорбционные исследования ПВС образцами технического углерода проводили по методу Киплинга с последующим извлечением растворителя и количественным определением не связанного с техническим углеродом полимера [11].

Навеску адсорбента рассчитывали, исходя из условия:

$$m_n / (m_{\text{дв}} * S_{\text{вн}}) = 1, \quad (6)$$

где  $m_n$  и  $m_{\text{дв}}$  – массы раствора полимера и адсорбента соответственно, г;

$S_{\text{вн}}$  – удельная внешняя поверхность адсорбента, м<sup>2</sup>/г;

1 – плотность адсорбционного слоя на поверхности технического углерода, г/м<sup>2</sup>.

В ампулу вносили водный раствор полимера и адсорбент и помещали её в выносную емкость термостата, установленную на механическом встряхивателе с частотой колебаний платформы 1,7-2,2 Гц и амплитудой колебаний  $28 \pm 2$  мм, и выдерживали при  $298 \pm 1$  К в течение разных промежутков времени. Концентрацию полимера  $C_i$  находили с помощью лабораторного жидкостного интерферометра ЛИР-2 по калибровочному графику.

Через определенные промежутки времени проводили отбор и анализ проб растворов ПВС, отделяя адсорбент центрифугированием. Концентрацию растворов полимера определяли по уравнению калибровочного графика.

Величину удельной равновесной адсорбции полимеров техническим углеродом ( $\Gamma_p$ , мг/г) рассчитывали по формуле [12]:

$$\Gamma_p = \frac{m_n \times (C_0 - C_p)}{m_{\text{дв}}}, \quad (7)$$

где  $C_0$  и  $C_p$  – концентрация раствора полимера до и после адсорбции, мг/г;

Полученные изотермы спрямляли в координатах уравнений БЭТ для определения величин предельной адсорбции  $\Gamma_\infty$ . Величину предельной адсорбции ( $\Gamma_\infty$ ), и константу адсорбции ( $k$ ) определяли из линейных

участков изотерм, построенных в координатах уравнения БЭТ  $\frac{\frac{C}{C_s}}{\Gamma(1 - \frac{C}{C_s})} = f \frac{C}{C_s}$ . Тангенс угла наклона  $\text{tg } \alpha$  та-

кой прямой к оси  $\frac{\frac{C}{C_s}}{\Gamma(1 - \frac{C}{C_s})}$  выражал величину  $(k-1)/k \cdot \Gamma_\infty$ , а отрезок, отсекаемый ею на этой оси, равен  $(k \cdot \Gamma_\infty)^{-1}$ .

В результате сорбции ПВС на поверхности технического углерода образуется слой полимера. По аналогии с моделью межфазного слоя эластомернаполненного композита, он состоит из адсорбционного слоя, непосредственно примыкающего к техническому углероду ( $h_1$ ) и промежуточного слоя полимера ( $h_2$ ), характеризующего несколько большей вязкостью, чем полимер свободного объёма.

Толщину 1-го адсорбционного слоя определяли из величин предельной адсорбции, рассчитанных из уравнения БЭТ по формуле [12]:

$$h_1 = \Gamma_\infty / \rho_{\text{ПВС}}, \quad (8)$$

где  $\Gamma_\infty$  – величина предельной адсорбции ПВС техническим углеродом, кг/м<sup>2</sup>,  $\rho_{\text{ПВС}}$  – плотность ПВС, равная 1290 г/м<sup>3</sup>.

Модуль упругости ( $G$ , кПа) рассчитывали по уравнению  $y = 12,61e^{0,0294x}$ , где  $x$  – толщина 1-го адсорбционного слоя ( $h_1$ , нм) [12].

#### IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Изучены образцы технического углерода марок П514, N339 методом просвечивающей электронной микроскопии и титриметрическим методом. С помощью просвечивающей электронной микроскопии (электронный микроскоп JEM-2100) изучена морфология частиц ТУ (рис. 2–3).

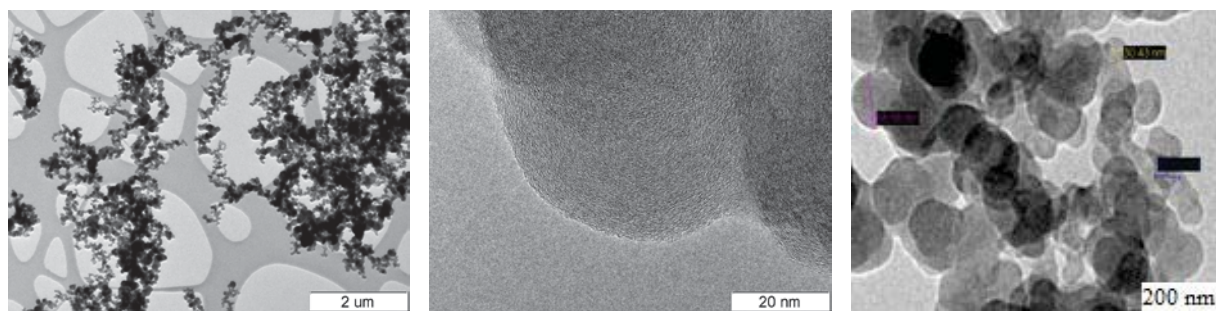


Рис. 2. Электронная микроскопия ТУ марки П514

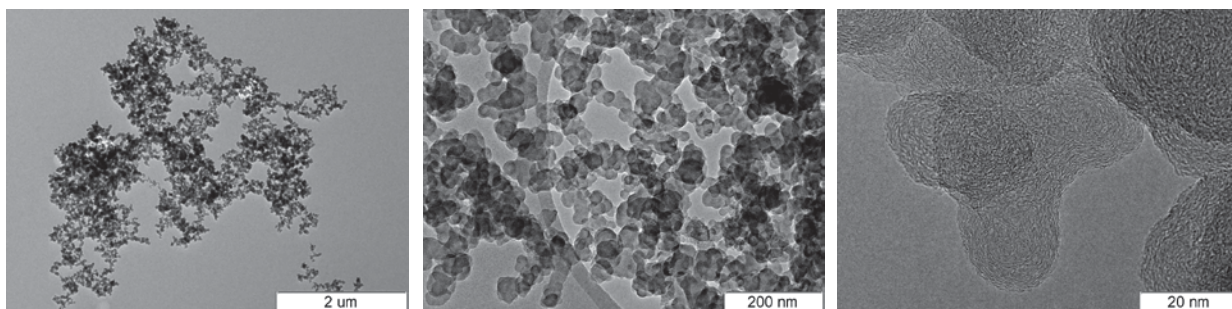


Рис. 3. Электронная микроскопия ТУ марки N339

Титриметрическим методом определен функциональный состав образцов ТУ, представленный в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Наименование образцов	Содержание кислородсодержащих групп, мг-экв/г		
	Карбоксильные	Фенольные	Хинонные
П514	0,03	0,08	0,03
N339	0,02	0,03	0,74

Проведены исследования адсорбционного взаимодействия в системе технический углерод-поливиниловый спирт. По результатам исследований построены зависимости адсорбции ПВС от времени (рис. 4) и от равновесной концентрации (рис. 5).

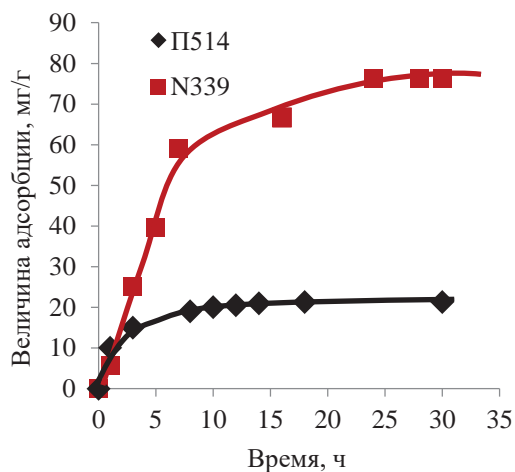


Рис. 4. Зависимость величины адсорбции ПВС от времени контакта с ТУ

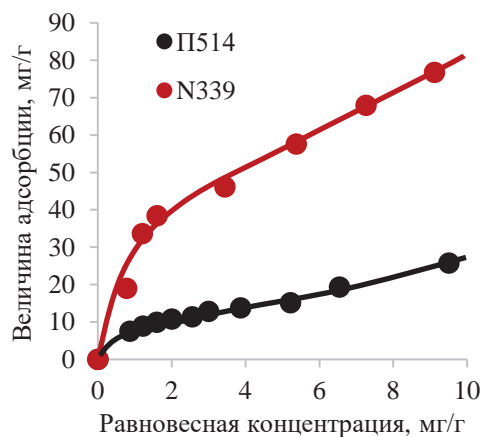


Рис. 5. Зависимость величины адсорбции ПВС от равновесной концентрации

Проведено спрямление изотерм адсорбции ПВС образцами технического углерода марок П514 и N339 в координатах уравнений БЭТ. Из уравнения БЭТ рассчитаны значения параметров адсорбции и коэффициенты корреляции ( $R^2$ ) прямолинейных уравнений адсорбции (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4  
ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АДсорбЦИИ, РАССЧИТАННЫХ ИЗ УРАВНЕНИЯ БЭТ  
И КОЭФФИЦИЕНТЫ КОРРЕЛЯЦИИ ( $R^2$ ) ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ АДсорбЦИИ

Образец	$\Gamma_{\infty}$ , мг/г, рассчитанное из уравнений	$k$ , рассчитанное из уравнений	$h_1$ , нм	$R^2$	$G$ , кПа
	БЭТ	БЭТ			
П514	14,8	18,3	23	0,99	30
N339	51,5	2,7	44	0,93	46

Проведено прогнозирование модуля упругости (рис. 6) наполненных техническим углеродом криогелей по толщине 1-го адсорбционного слоя.

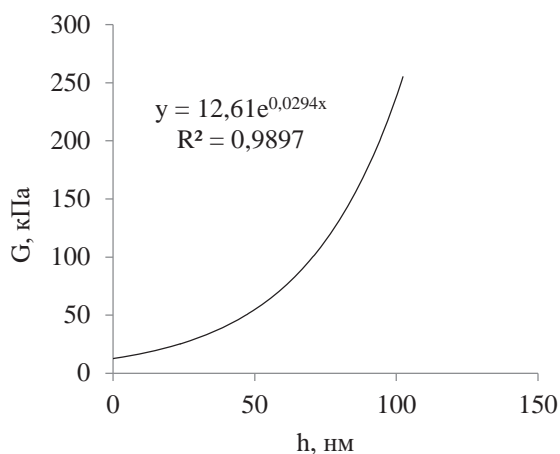


Рис. 6. Прогнозирование модуля упругости, наполненных техническим углеродом криогелей по толщине 1-го адсорбционного слоя

#### V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Электронные микроскопические снимки образцов технического углерода сделаны при различном увеличении, что дает наглядное представление о размере частиц ТУ. На снимках видно, что ТУ состоит из отдельных частиц довольно правильной сферической формы, представляющие собой мельчайшие условные шарики. По данным снимкам определяли средний размер частиц. Размер частиц технического углерода П514 составляет от 30 до 67 нм, а для N339 – 20-50 нм. Известно, что чем меньше размер частиц, тем большей дисперсностью обладает ТУ.

На электронных микроскопических снимках видно, что отдельные частицы технического углерода сгруппированы в агрегаты, которые имеют вид разветвленных трёхмерных цепей. Видно, что образец N339 имеет более разветвленную структуру, чем П514. Известно, что чем больше таких цепей и их разветвлений, тем большей структурностью обладает ТУ. Наличие цепочечной структуры является важным свойством, и чем ярче она выражена, тем большую жесткость, упругость ТУ придает конечной продукции.

По результатам электронной микроскопии можно сделать вывод, что образец N339 обладает большей дисперсностью и структурностью по сравнению с образцом П514.

Согласно результатам титриметрического метода на поверхности образца ТУ N339 имеются хинонные группы в количестве 0,74 мг-экв/г.

Для количественного определения концентрации ПВС до и после адсорбции использовали оптический метод исследования с применением интерферометра ЛИР-2. Сущность данного метода заключается в определении разности показателей преломления, исследуемого и сравниваемого растворов (вода) по величине смещения интерференционной картины с помощью прибора интерферометра ЛИР-2.

Известно, что макромолекулы полимера адсорбируются из растворов на твердой поверхности за счет образования контактов с ней. При этом мобильность полимерной цепи сохраняется, хотя ее часть связана с твердой поверхностью и может даже образовывать несколько слоев [13]. Первый слой удерживается водородной связью, последующие – гидрофобными взаимодействиями [14]. Толщина адсорбционного слоя зависит от значения адсорбции, но не от молекулярной массы полимера [15]. Анализ литературных данных показал, что толщина слоя ПВА может быть как 150 нм [15], так и 500 нм [16].

Проведенные исследования адсорбционного взаимодействия в системе технический углерод-поливиниловый спирт на исследуемых образцах ТУ показали, что время равновесия для образца П514 устанавливается в течение 10 ч (рис. 4). Для образца N339 время равновесия устанавливается за 25 ч, но при этом величина адсорбции для данного образца в 3 раз выше, чем для образца П514. Разное время установления равновесия можно объяснить тем, что образец N339 имеет почти в 2 раза больше поверхность, чем П514.

На рис. 5 видно, что для образца П514 в течение суток значение адсорбции составило 25 мг/г, а для образца N339 - 75 мг/г. Таким образом, значение адсорбции для образца N339 в 3 раз больше, чем для образца П514. Вид построенных адсорбционных кривых для исследуемых образцов, согласно литературным данным, описывает чаще всего физическую адсорбцию на твердой поверхности.

Изотермы спрямляли в координатах уравнений БЭТ и определяли величину предельной адсорбции  $\Gamma_{\infty}$ . Из уравнения БЭТ рассчитаны значения параметров адсорбции и коэффициенты корреляции ( $r^2$ ) прямолинейных уравнений адсорбции (таб. 4). Величина предельной адсорбции  $\Gamma_{\infty}$  для ТУ N339 в 3,5 раза больше, чем для П514, а толщина слоя в 1,9 раз выше.

По результатам адсорбции ПВС на образцах ТУ можно предварительно оценить модуль упругости криогелей, получаемых на их основе. Согласно проведенным расчетам установлено, что модуль упругости для криогеля, наполненного техническим углеродом П514, составит 30кПа, а для образца N339 – 46кПа соответственно.

Таким образом, наиболее перспективным образцом в качестве наполнителя криогеля, для повышения его упруго-прочностных свойств, может быть технический углерод N339.

## VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показали, что образец технического углерода N339 является наиболее перспективным и позволяет адсорбировать на своей поверхности большее количество поливинилового спирта. Основное преимущество образца технического углерода N339 в том, что он обладает большей удельной площадью поверхности ( $NSA(N339) = 91 \text{ м}^2/\text{г}$ ,  $NSA(П514) = 50 \text{ м}^2/\text{г}$ ), в том числе и внешней ( $STSA(N339) = 88 \text{ м}^2/\text{г}$ ,  $STSA(П514) = 44 \text{ м}^2/\text{г}$ ). То есть образец N339 обладает большей дисперсностью и структурностью по сравнению с образцом П514. Кроме того, на поверхности технического углерода N339 присутствуют хинонные группы в количестве 0,74 мг-экв/г. Вследствие чего адсорбционная способность технического углерода марки N339 по отношению к ПВС в 3 раза выше, чем для марки П514, хотя время равновесия в системе устанавливается дольше (в течение суток).

По результатам адсорбции ПВС на исследуемых образцах ТУ установлено, что модуль упругости для криогеля, наполненного техническим углеродом П514, составляет 30кПа, а для образца N339 – 46кПа соответственно. Наиболее перспективным образцом в качестве наполнителя криогеля может быть технический углерод N339.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ. БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Национальный центр исследования катализаторов».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тагер А. А., Аникеева А. А., Адамова Л. В., Андреева В. М., Кузьмина Т. А., Цилипоткина М. В. Влияние температуры на растворимость поливинилового спирта в воде // Высокомолекулярные соединения. 1999. Серия А. Т. 13. Вып 3. С. 659–665.
2. Остроушко А. А., Вилкова Н. В., Попова К. А. Изучение процессов образования молекулярных суперкомплексов анионов d-металлов с поливиниловым спиртом в водных растворах // Журнал неорганической химии. 2000. Т. 45. Вып 4. С. 712–718.
3. Пахомов П. М., Хижняк С. Д., Nordmeier E., Nierling W., Lechner M. D. Процессы структурообразования в водных растворах поливинилового спирта // Высокомолекулярные соединения. 1999. Серия А. Т. 41. Вып 6. С. 1035–1039.

4. Zhang H., Zhang J. The preparation of novel polyvinyl alcohol (PVA)-based nanoparticle/carbon nanotubes (PNP/CNTs) aerogel for solvents adsorption application // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2020. Vol. 569. P. 254–266.
5. Varga M., Stehlik S., Kaman O., Izak T., Domonkos M., Lee D.S., Kromka A. Templated diamond growth on porous carbon foam decorated with polyvinyl alcohol-nanodiamond composite // *Carbon*. 2017. Vol. 119. P. 124–132.
6. Стрижак Е. А., Раздьяконова Г. И., Филиппева А. А., Неделькин В. И. Исследование однородности дисперсного технического углерода как наполнителя резин методами световой, сканирующей атомно-силовой и электронной микроскопией // *Каучук и резина*. 2009. № 6. С. 18–19.
7. Томас Г., Горинж М. Дж. Просвечивающая электронная микроскопия материалов: пер. с англ. / Под ред. Б. К. Вайнштейна. М: Наука, 1983. 320 с.
8. ASTM D 3849-07 Standard test method for carbon black – morphological characterization of carbon black using electron microscopy. 2020.
9. Borah D., Satokawa S., Kato S., Kojima T. Characterization of chemically modified carbon black for sorption application // *Applied Surface Science*. 2008. № 254. P. 3049–3056.
10. Кохановская О. А. Метод оценки содержания хинонных групп на поверхности дисперсного углерода // *методы исследования состава и структуры функциональных материалов: матер. 1-я Всерос. науч. конф. Новосибирск, 11-16 октября 2009 г.* С. 200.
11. Kipling J. J. Adsorption from solutions of Non-Electrolytes. Academic Press, London, 1965. 340 p.
12. Кохановская О. А. Изучение влияния морфологии и физико-химических свойств дисперсного углерода на процесс образования наполненных гелевых матриц на основе водорастворимых полимеров: дис. ... канд. хим. Наук. Омск, 2012. 159 с.
13. Patat F., Schliebener C. Die adsorption von makromolekullen I // *Makromol. Chem*. 1957. № 44/46. P. 643–669.
14. Гельфман М. И., Ковалевич О. В., Юстратов В. П. Коллоидная химия. СПб.: Лань, 2003. 332 с.
15. Patat F., Killinann E., Schliebener C. Die adsorption von makromolekullen III // *Angewandte macromolekulare chemie*. 1961. № 49. P. 200–214.
16. Tuijnman C. A. F., Hermans J. J. Precision viscometry of polyvinyl acetate in toluene // *Journal of polymer science*. 1927. № 25. P. 385–401.

УДК 546.05

### ОСТЕОИНДУКТИВНЫЕ ГРАНУЛЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА, ВОЛЛАСТОНИТА И ЖЕЛАТИНА

#### OSTEOINDUCTIVE GRANULES BASED ON HYDROXYAPATITE, WOLLASTONITE AND GELATIN

А. Е. Шевченко<sup>1,2</sup>, А. П. Солоненко<sup>2</sup>, Е. С. Чиканова<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

<sup>2</sup>*Омский государственный медицинский университет, г. Омск, Россия*

<sup>3</sup>*Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, г. Омск, Россия*

A. E. Shevchenko<sup>1,2</sup>, A. P. Solonenko<sup>2</sup>, E. S. Chikanova<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Omsk State Technical University, Omsk, Russia*

<sup>2</sup>*Omsk State Medical University, Omsk, Russia*

<sup>3</sup>*Omsk State University named after F.M. Dostoevsky, Omsk, Russia*

**Аннотация.** Актуальной задачей современного медицинского материаловедения является разработка и создание остеоиндуктивных биоматериалов, предназначенных для восстановления и замещения костных дефектов. В данной работе по суспензионной технологии, основанной на принципе несмешивающихся жидкостей, из керамических порошков, содержащих гидроксиапатит и волластонит в различных пропорциях, и желатина, выполняющего роль связующего полимера, получена серия гранулированных композитов, которые имеют сферическую форму и полидисперсный состав. Полученные материалы могут быть использованы в травматологии и ортопедии для заполнения костных дефектов.

**Ключевые слова:** биоматериалы, композиты, гранулы, гидроксиапатит, волластонит, желатин