

УДК 544.46:665.75:662.7

ТЕРМОРАСШИРЕННЫЙ ГРАФИТ: СВОЙСТВА И ПОЛУЧЕНИЕ

С. Тұрсынбек¹, Г. О. Турешова¹, К.К. Кудайбергенов¹,С. Любчик², Е.К. Онгарбаев¹, З.А. Мансуров¹¹Казахский Национальный Университет имени аль-фараби, Алматы, Казахстан²Научно Технический Центр HORIZONTOMORROW, Португалия. E- mail: chem_sabyt.777@mail.ru

Аннотация

Одной из актуальнейших задач в области оценки экологического состояния является разработка единого комплексного подхода к проблеме качества среды и, в частности, воды, а также критериев оценки этого качества. В этом исследовании природный графит преобразован в адсорбент, предназначенный для использования в избавлении от нефтяных пятен. Микроструктура и морфология термографенита, приготовленного термоудара природного графита были исследованы Раман спектроскопией и сканирующим электронным микроскопом (SEM). Обнаружен и исследован инновационный термоинициируемый процесс в системах "графит - реагент-окислитель" - прямая окислительная конверсия графита в ТРГ, протекающий через стадию образования СИГ как нестабильного интермедиата реакций термоллиза. Исследование графитов в качестве сорбентов нефти в Казахтанской науке и технике является очень актуальной и имеет практическое будущее.

Ключевые слова: термографенит, соединения интеркалирования графита, термодеструкция, углеродных плоскость

Введение

Однокомпонентные системы из углерода представлены многообразием структурных форм: алмаз, графит, угли, углеродные волокна, сажи, фуллерены и нанотрубки. Терморасширенный графит (ТРГ) также состоит из чистого углерода, но имеет пеноподобную структуру. Насыпная плотность образцов ТРГ колеблется в широких пределах (1-10 г/дм³) и определяется условиями его получения [1-2]. Пикнометрическая плотность ТРГ по воде составляет 0.4-0.3 г/см³.

Удельная поверхность равна 15-100 м²/г углерода. Как и графит, ТРГ химически инертен, электропроводность и теплопроводность определяются пороговой структурой материала и могут варьироваться в широких пределах.

Общий принцип, заложенный в основу различных методов получения ТРГ, заключается во внедрении в межслоевые пространства графита веществ или соединений, которые при быстром нагреве либо сами переходят в газообразное состояние, либо продукты их распада являются газами [3]. Таким процессам способствует слоистая структура графита и слабое Ван-дер-Ваальсово взаимодействие между слоями (энергия связи,

по разным оценкам, составляет 2-80 кДж/моль).

Внедренные частицы удерживаются благодаря трем типам взаимодействий с атомами углерода сетки: 1) ионным; 2) ванн-дер-ваальсовым; 3) ковалентным связям. В последнем случае теряется сопряжение слоев и они искривляются.

Такие соединения выделяют в класс ковалентных. К ним относят оксиды и фториды графита.

В настоящее время в качестве интеркалантов применяется более сотни химических веществ. Известно множество акцепторных соединений интеркалированного графита (СИГ). В общем случае для образования акцепторных СИГ требуется реагент или смесь реагентов, сочетающих три разные функции [4]:

- 1) сильного окислителя;
- 2) источника анионов для компенсации положительного заряда графитовой решетки;
- 3) источника сольватирующих молекул, стабилизирующих внедренный анион.

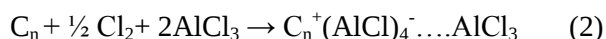
По механизму взаимодействия исходного реагента-окислителя (Ох) с графитом различают следующие типы Ох:

1 тип - в результате восстановления молекулы Ох в восстановительно-окислительных реакциях с углеродными сетками образуется анион-интеркалант.



Этот случай характерен для СИГ с SO_3 , Br_2 , кислотами Льюиса: FeCl_3 , CuCl_2 , MoCl_2 , WCl_6 , AsF_5 [4-9] и др.

2 тип - Ox является только источником анионов A^- . Для образования графитовых макрокатионов C_n^+ требуется дополнительный окислитель. Примеры таких систем: СИГ с AlCl_3 , FeCl_2 , NiCl_2 , CoCl_2 , BiCl_3 , HgCl_2 , TaCl_2 и др., которые образуются только в присутствии акцепторов электронов, таких, как Cl_2 , Br_2 , I_2 [4], например:



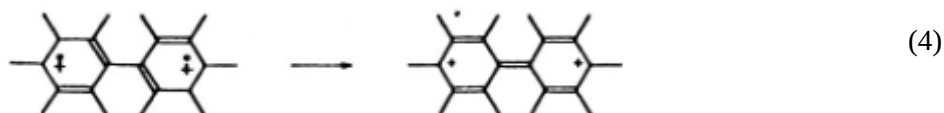
Фосфорная, трифторуксусная, 80 % серная кислоты также внедряются в графит только при содействии окисляющих агентов, в качестве которых успешно используют KMnO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, H_2O_2 , MnO_2 , и др.

3 тип - смешанная функция Ox . Исходный реагент-окислитель одновременно служит акцептором электрона, источником аниона и сольватирующих молекул. Такими окислителями являются HNO_3 , HClO_4 , пентафториды мышьяка и сурьмы. При этом активные частицы (акцептор электрона и интеркалант) появляются в результате диссоциации исходного Ox , например:



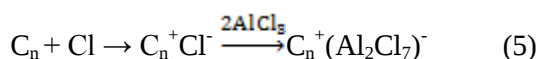
Роль сольватирующих молекул-лигандов до конца не ясна. Предполагается, что они играют роль распорок между слоями графита [10] или участвуют в образовании сетки водородных связей, стабилизирующих двухмерную структуру слоя гостей, или стабилизируют структуру за счет своей высокой диэлектрической проницаемости и препятствуют обрушиванию углеродных слоев, как это наблюдают в случае бисульфата графита и нитрата графита [11].

Упрощенно принято, что графитовая матрица сложена из кластеров (C_n), агрегированных в надмолекулярные образования – кристаллиты $(\text{C}_n)_x$, которые состоят из x полиареновых слоев C_n , связанных нековалентными взаимодействиями, и являются донорами электронов в реакциях интеркалирования; n -число C - атомов в участке сетки, которые сообща отдают один из делокализованных π -электронов и стабилизируются кулоновским взаимодействием с одним анионом. Хотя в таких реакциях должен образовываться именно катион-радикал C_n^+ , матрица СИГ не проявляет свойств, характерных для неспаренного электрона. Можно предположить, что делокализованные спины соседних блоков C_n^+ спариваются, например:



или более условно: $2\text{C}_n^+ \rightarrow 2\text{C}_n^+$.

Стадия 1 - представляет собой перенос электрона с блока углеродных атомов C_n на электроноакцептор с образованием ионно-радикальной пары, которая далее может присоединить интеркалируемые частицы, например:

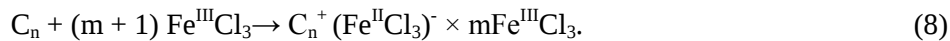
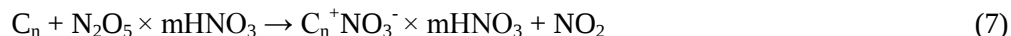


Стадия 2 - ионное взаимодействие частиц C_n^+ и A^- , включающее транспорт анионов в решетку, откликающуюся на внедрение «гостей» изменением ближнего и дальнего порядка C - атомов.

Для отдельно взятого кристаллита $(\text{C}_n)_x$ стадии 1 и 2 последовательны. При реализации в макрообъеме эти две стадии развиваются

параллельно, скорее всего по эстафетному механизму (аналогично передаче электронов а полимерных матрицах). Стадии 1 и 2 обратимы. Обратные реакции (k_{-2} и k_{-1}) передают деинтеркалирование - реакцию по определению [12], обратную интеркаливанию.

Исследования методом рентгенофазового анализа показывают, что при внедрении интеркалантов – акцепторов в межслоевое пространство графита расстояние между углеродными сетками вдоль C оси (d_i) увеличивается до 0,7-1,1 нм в зависимости от природы интеркаланта. Общим для этих соединений является то, что углеродные сетки (C_n) несут положительный заряд и функционируют как поликатион (C_n^+). Примерами могут служить наиболее изученные реакции [13- 16]:



Термолиз СИГ включает совокупность изменений на молекулярном и надмолекулярном уровнях, внешние проявления которых - газообразные, химическое диспергирование и увеличение кажущегося объема. Тип СИГ, энергия связи внедренных частиц и термолабильность решетки графита определяют качественный состав продуктов термолиза. На молекулярном уровне можно выделить несколько основных маршрутов и соответствующих им продуктов термолиза:

1. Диффузия внедренных частиц из межплоскостных пространств при обязательном условии сохранения молекулярной структуры интеркаланта и твердого тела.

2. Деструкция термолабильных фрагментов интеркаланта и решетки в отсутствие химического взаимодействия между ними.

3. Химические реакции интеркаланта с решеткой вещества, а также вторичные реакции продуктов их термодеструкции.

Указанные маршруты протекают последовательно и их можно выделить, изучая кинетику термолиза при различных температурах. Вклад каждого из маршрутов в общий процесс термолиза определяется природой СИГ.

Поведение СИГ при нагревании определяется физико-химическими характеристиками интеркаланта и, в меньшей степени, структурой графита [17]. Относительно легко из СИГ выходят молекулы-лиганды. Например, нитрат графита $C_n^+ NO_3^- \cdot mHNO_3$ до 150 °C отдает HNO_3 [18], оксид графита до 100 °C – воду, бисульфат графита $C_n^+ SO_4^{2-} \cdot mH_2SO_4$ – до 300 °C теряет H_2SO_4 . СИГ с бромом значительную часть последнего (9/10) отдают до 100 °C. Первый маршрут характерен для СИГ с кислотами Льюиса, SO_3 , Br_2 ; регенерированный графит незначительно отличается от исходного. Диффузия интеркаланта протекает с повышением стадии интеркалирования.

При невысоких температурах доминирует маршрут 2; он же в значительной мере определяет характер химических реакций для ионных СИГ низких стадий интеркалирования, характеризующихся большой энергией связи с

решеткой графита и низкой летучестью внедренного вещества [19]. Наиболее простая ситуация – восстановление интеркаланта: одноэлектронное – $CuCl_2$ до $CuCl$, $FeCl_3$ до $FeCl_2$ или многоэлектронное с образованием Fe^0 [20]. В других случаях регистрируются разнообразные газообразные продукты, например, NO и NO_2 при термолизе ($T \geq 200$ °C) нитрата графита [21]; CH_4 , CO , SO_2 при термолизе бисульфата графита, причем, с максимальными скоростями при двух температурах – 330 °C ($E_{эф} = 178 \pm 8$ кДж/моль) и 550 °C ($E_{эф} = 300$ кДж/моль) [18,22]. В чистом виде маршрут 2 реализуется редко, поскольку продукты собственно термодеструкции трудно отделить от продуктов вторичных реакций.

Особый случай – ковалентные СИГ (оксид и фторид графита), где маршрут диффузии, вероятно, невозможен. Последующий термолиз определяется энергией связей C-O, C-F, C-C в углеродных слоях. При медленном нагревании оксида графита (≤ 1 град/мин) фиксируются стадии дегидратации, деструкция происходит за счет разрушения кислородсодержащих фрагментов, генерации большого числа дефектов с нескомпенсированными σ -связями [23], образуются газы H_2O , CO , CO_2 (80-290 °C) [24].

При быстром нагреве диффузия и деструкция идут неглубоко, термолиз быстро переводится в режим параллельного протекания процессов 1, 2 и 3. Образующийся новый углеродный материал является продуктом этих реакций. При неполном удалении молекул протекает комплекс химических реакций (маршрут 3). Конкретные механизмы термолиза СИГ индивидуальны для данного интеркаланта, но есть и общие, не зависящие от природы СИГ, закономерности. При повышенных температурах решетка графита выступает донором электронов и инициирует распад сложных молекул, например, HNO_3 до NO_2 и NO , H_2SO_4 до H_2O , SO_3 , SO_2 , $FeCl_3$ до $FeCl_2$, Fe , Cl_2 [18-25]. Подобные реакции могут способствовать гомолитическому расщеплению связей решетки и генерации радикальных частиц, многократно увеличивающих число

реакций маршрута 3 [26]. Также вероятно гетеролитическое расщепление непрочных С-С и С-О-С связей в решетке.

Вследствие совместного протекания маршрутов 1-3 конечный углеродный продукт и/или остаточные содинения (ТРГ и/или ОС) имеет большое число структурных и химических дефектов, концентрация которых уменьшается при повышении температуры и приближается к нулю при $T \geq 2000^\circ\text{C}$

(рисунок 2) [27]. Интеркалант, независимо от природы, является донором решеточно связанных гетероатомов (Br, Cl, F, N, O, S) в твердых продуктах термолiza – ТРГ, ОС. Реакции идут через образование разных функциональных групп [28]. Кислород-содержащие интеркаланты всегда выступают донорами О-атомов, а их распад в матрице графита сопровождается выделением в газовую фазу оксидов углерода.

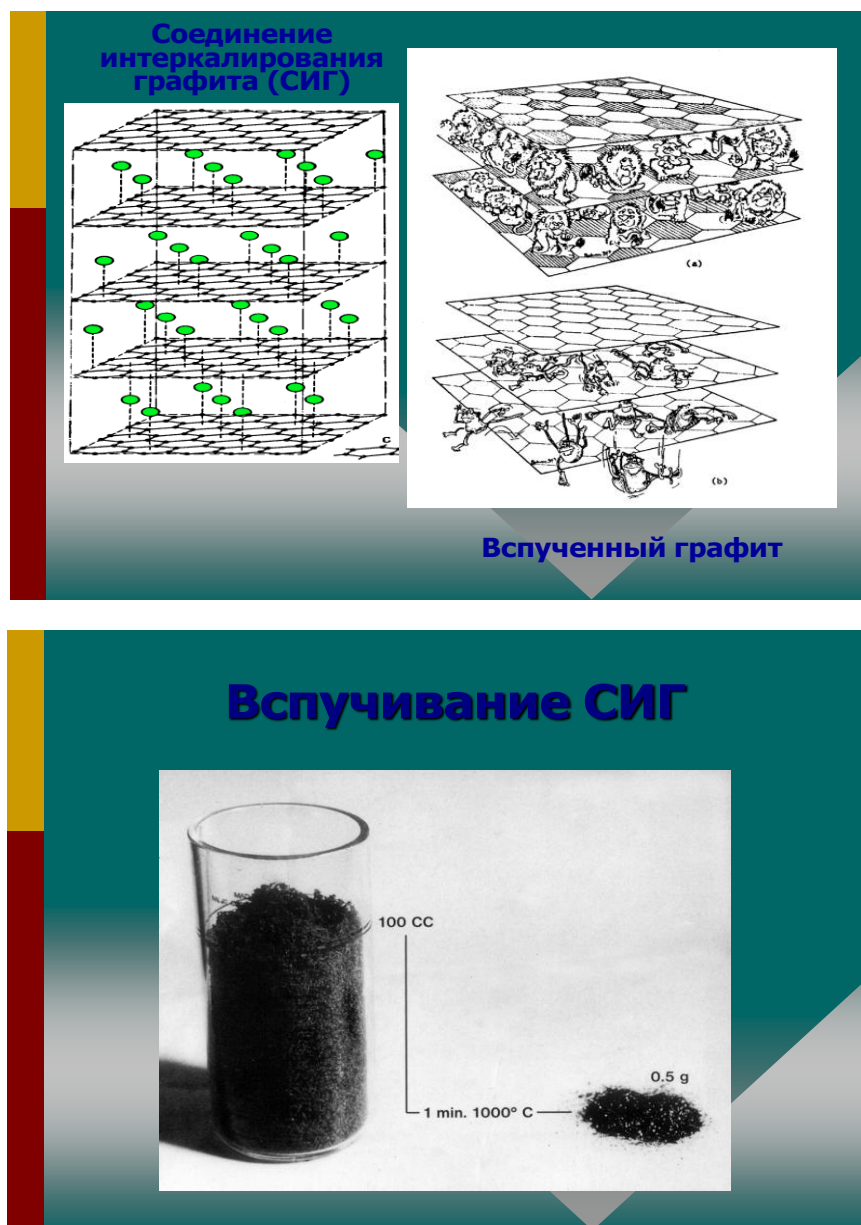


Рис. 1 – Процесс термодеструкции. Образование термографенита (ТРГ)

Макроструктура СИГ также влияет на характер образующихся продуктов термолiza. При нагревании ковалентных СИГ интеркаланты и продукты реакций выходят через

динамическую сеть каналов и микропор (трехмерная диффузия), что при больших скоростях нагрева ведет к химической дезинтеграции решетки и частичному выго-

ранию графита до CO , CO_2 . Для других СИГ выход молекул из решетки возможен по межслоевым пространствам (двумерная диффузия) с образованием ОС и, в случае ограниченной «пропускной способности», макроструктура разрушается – наблюдается эффект вспучивания и образуется ТРГ [29].

Свойство СИГ вспучиваться удобно оценивать через показатель вспучивания $K_v = V/m$, где V – геометрический объем, занимаемый продуктом термолитиза СИГ, m – исходная навеска СИГ. Способность вспучиваться зависит от конечной температуры термолитиза (T), природы и дисперсности графита, состава СИГ. Для СИГ одинакового состава она зависит от метода получения [30].

Общим свойством СИГ при вспучивании являются последовательные переходы от низших стадий внедрения к высшим, вплоть до образования конечных продуктов [31]. Некоторые СИГ начинают вспучиваться при низких температурах, например, при -15°C для $\text{C}_{11.5}\text{AlCl}_3(1.0-1.5)\text{Cl}_2$; -20°C для синтезируемого при -78°C соединения C_8Cl ; -80°C для C_nJF_5 . Более термостабильные СИГ вспучиваются при повышенных температурах. Из соединений графита с MeCl_n ($\text{Me} = \text{Mn}, \text{Co}, \text{Cu}, \text{Ni}, \text{Fe}$) наибольшей устойчивостью обладает СИГ с NiCl_2 , наименьшей – с CuCl_2 за счет низкотемпературной диссоциации последнего до Cu_2Cl_2 , а для систем графит – RuCl_3 температура 790°C – лишь начало синтеза СИГ. Характер вспучивания изменяется с увеличением скорости нагрева. При малых скоростях нагрева на зависимости потери массы ($\Delta m/m$) от температуры отчетливо диагностируется стадийность термолитиза, что используют для изучения состава СИГ. При больших скоростях реализуется эффективное вспучивание, иногда разложение приобретает взрывной характер. Оксид графита (ОГ) взрывается при скоростях нагрева $\geq 1^\circ\text{C}/\text{мин}$ в интервале $180-220^\circ\text{C}$ [32]. При быстром разложении образуется сажа и газы с мольным отношением $(\text{CO}/\text{CO}_2)=1,5$ при медленном – мелкодисперсный графит (отношение CO/CO_2 в газе равно 0,25). Конечная температура термолитиза определяет выход и структуру углеродного остатка [9], а также степень вспучивания, максимальные значения которой достигаются в режиме теплового удара – быстрого введения СИГ в предварительно нагретую зону, температура которой определяет скорость нагрева.

Обобщая представленные данные, можно утверждать, что при быстром нагреве СИГ или продуктов их гидролиза между слоями углеродных сеток в графите возникает давление, оказывающее диспергирующее действие. Деинтеркаляция из графитовой матрицы осуществляется как через торцы слоев, так и через имеющиеся дефекты, вызывая разрыв и подвижку слоев. При высоких скоростях нагрева это приводит к образованию пеноподобных структур. Кроме того, показано, что к настоящему времени многие стороны протекания процесса конверсии графита (синтез СИГ, ТРГ, ОС) в системах «графит – реагент-окислитель» еще полностью не изучены. Традиционно в литературе стадии получения СИГ и его деструкции рассматривают как два обособленных химических процесса, хотя известно, что для некоторых систем «графит-реагент-окислитель» термолитиз в условиях термоудара позволяет получать ТРГ без стадии выделения СИГ. Однако этим реакциям не было уделено должного внимания, что не позволило рассмотреть процессы синтеза и деструкции СИГ в рамках единой схемы и подойти к процессу получения ТРГ как технологически одностадийному.

Литература

1. Финасов А.И., Трифонов А.И., Журавлев А.М., Яковлев А.В. Области применения и получения терморасширенного графита. Вестник СГТУ. 2004. № 1(2). С. 75-85
2. И.М.Афанасьев и др. Теплопроводность и механические свойства терморасширенного графита. Неорганические материалы. 2009. Т. 45, № 5, с. 540-544
3. Фиалков А.С. Углерод. Межслоевые соединения и композиты на их основе. М.: Аспект Пресс, 1997. с. 718
4. Сорокина Н.Е., Никольская И.В., Ионов С.Г., Авдеев В.В. Обзоры. Интеркалированные соединения графита акцепторного типа и новые углеродные материалы на их основе // Изв. Академии наук. сер. хим. - 2005. - Т. 54. № 8, - С. 1699-1716.
5. Celzard A., Mareche J.F., Furdin G. Modelling of exfoliated graphite // Progress in Materials Science. - 2005. - Vol. 50. - P. 93-179.
6. Furdin G. Exfoliation process and elaboration of new carbonaceous materials // Fuel. - 1998. - Vol. 77. № 6, - P. 479-485.

7. Chung D.D.L. Review Exfoliation of graphite // *J. Mater. Sci.* - 1987. - Vol. 22. - P. 4190-4198.
8. Черныш И.Г., Карпов И.И., Приходько В.П., Шай В.М. Физико-химические свойства графита и его соединений. - Киев: Наукова думка, 1990. - 200 с.
9. Kang F., Zheng Y. P., Wang H. N., Nishi Y., Inagaki M. Effect of preparation conditions on the characteristics of exfoliated graphite // *Carbon.* - 2002. - Vol. 40. - P. 1575-1581.
10. Beecahen T., Lafdi K., Elgafy A. Bubble growth mechanism in carbon foams // *Carbon.* - 2005. - Vol. 43. - P. 1055-1064.
11. Inagaki M., Suwa T. Pore structure analysis of exfoliated graphite using image processing of scanning electron micrographs // *Carbon.* - 2001. - Vol. 39. - P. 915-920.
12. Griffith A. The phenomena of rupture and flow in solids // *Phil. Trans. Roy. Soc. London. Ser. A.* - 1921. - Vol. 221. - P. 163-198.
13. Fischer J.E., Thompson T.E. Graphite intercalation compounds *Physics Today*, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2995104>.
14. Yoon G., Seo D., Ku K., Kim J., Jeon S., Kang K., Factors Affecting the Exfoliation of Graphite Intercalation Compounds for Graphene Synthesis // *Chem. Mater.*, - 2015, 27 (6), - P. 2067-2073. DOI: 10.1021/cm504511b.
15. Rangappa D., Sone K., Wang M., Gautam U., Gilberg D., Iton H., Ichihara M. Honma Rapid and Direct Conversion of Graphite Crystals into High-Yielding, Good Quality Graphene by Supercritical Fluid Exfoliation Chemistry // *A European Journal*, - 2010. - [Vol 16](#), N [22](#), - P. 6488-6494.
16. Cai M., Thorpe D., Adamson D. H., Schniepp H.C. Methods of graphite exfoliation // *Mater. Chem.* - 2012. - Vol. 22, - P. 24992-25002. DOI: 10.1039/C2JM34517J.
17. Убеллоде А.Р., Льюис Ф.А. Графит и его кристаллические соединения. - М.: Мир, 1965. - 265 с.
18. Parvez K., Wu Z.S., Li R., Liu X., Graf R., Feng X., Müllen K. Exfoliation of Graphite into Graphene in Aqueous Solutions of Inorganic Salts // *J. Am. Chem. Soc.*, - 2014. - Vol. 136, N16, - P. 6083-6091. DOI: 10.1021/ja5017156
19. Allwar A. Characteristics of pore structures and surface chemistry of activated carbons by physisorption, Ftir and Boehm Methods // *Journal of Applied Chemistry.* - 2014. Vol. 2, - P. 13.
20. Retitjean D., Furdin G., Herold A., Dupondt N. New data on graphite intercalation compounds containing HClO_4 // *synthesis and exfoliation // Molecular Crystals and Liquid Crystals.* - 1994. - Vol. 244, - P. 103-113.
21. Бурлешин М. Графит приходит на смену асбеста // *Вестник Мосэнерго.* - 2001. № 9, - С. 3-4.
22. Пат. 686598 СССР. МКИЗА 62 Д 1/00. Способ тушения металлов /Жан Саррю (Франция), Сека С.А. (Франция). - N2348348 /23-26; опубл. 15.09.79. Бюл. №34. - 2 с.
23. Solymosi F., Block J.H. Catalytic decomposition of HClO_4 vapor over CuO by field ion mass spectrometry // *J. Catal.* - 1976. - Vol. 42, №1, - P. 173-176.
24. Yoshida A., Hishiyama Y., Inagaki M. Exfoliation of vapor-grown graphite fibers as studied by scanning electron microscopy // *Carbon.* - 1989. - Vol. 28, № 4. - P. 539-543.
25. Leng Y., Gu J.L., Cao W.Q., Zhang. Influences of density and flake size on the mechanical properties of flexible graphite // *Carbon.* - 1998. - V. 36. - P. 875-881.
26. Когановский А.М., Клименко А.А., Левченко Т.М., Рода И.Г. // *Адсорбция органически веществ и воды.* Л., 1990. - С. 210-215.
27. Bockel C., Thomy A. Adsorption properties of exfoliated graphites prepared by dissociation of different intercalation compounds // *Carbon.* - 1981. - Vol. 19, - P. 142-151.
28. Kovtyukhova N.I., Wang Y., Berkdemir A., Cruz-Silva R., Terrones M., Crespi V.H., Mallouk T.E. Non-oxidative intercalation and exfoliation of graphite by Brønsted acids // *Nature Chemistry.* - 2014. - Vol. 6. - P. 957-960. DOI: 10.1038/NCHEM.2054.
29. Celzard A., Mareche J.F., Furdin G. Modelling of exfoliated graphite // *Progress in Materials Science.* - 2005. - Vol. 50. - P. 93-179.
30. Furdin G. Exfoliation process and elaboration of new carbonaceous materials // *Fuel.* - 1998. - Vol. 77. № 6, - P. 479-485.
31. Chung D.D.L. Review Exfoliation of graphite // *J. Mater. Sci.* - 1987. - Vol. 22. - P. 4190-4198.
32. Черныш И.Г., Карпов И.И., Приходько В.П., Шай В.М. Физико-химические свойства графита и его соединений. - Киев: Наукова думка, 1990. - 200 с.

THERMOEXPANDED GRAPHITE: PROPERTIES AND RECEPTION

S. Tursynbek, G. O. Toresheva, K.K. Kudaibergenov,

S. Lyubchik, Ye. K. Ongarbayev, Z. A. Mansurov

¹Kazakh National University named after al-farabi, Almaty, Kazakhstan.²Scientific Technical Center HORIZONTOMORROW, Portugal

E- mail: chem_sabyt.777@mail.ru

Abstract

One of the most urgent tasks in the field of assessing the ecological status is to develop a comprehensive integrated approach to the problem of the quality of the environment and, in particular, water, as well as criteria for evaluating this kachestva.ktualneyshih tasks to assess the ecological status of the development of a common approach to the problem kompleksno-go environmental quality and, in particular, water as well as evaluation criteria of quality. In this study, natural graphite transformed into adsorbent for use in getting rid of oil spills. The microstructure and morphology expanded graphite prepared natural graphite by thermal shock were investigated Raman spectroscopy and scanning electron microscope (SEM). Discovered and studied termoinitsiiruemy innovative processes in the system "of graphite - oxidizing agent" - a direct oxidative conversion of graphite in the TEG, proceeds through the formation of an unstable intermediate CIG thermolysis reactions. Research graphite as oil sorbents in science and technology of Kazakhstan is very relevant and have a practical future.

Keywords: expanded graphite, graphite intercalation compounds, thermal degradation, carbon plane.

ТЕРМОҰЛҒАЙҒАН ГРАФИТ: АЛЫНУЫ МЕН ҚАСИЕТТЕРІ

С. Тұрсынбек¹, Г.О. Төрешова¹, К.К. Кудайбергенов¹,С. Любчик², Е.К. Онгарбаев¹, З.А. Мансуров¹¹Әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.²Ғылыми Техникалық Орталық HORIZONTOMORROW, Португалия

E- mail: chem_sabyt.777@mail.ru

Аннотация

Қоршаған ортаны қорғау мәртебесін бағалау аймағында орта сапасы, атап айтқанда, су сонымен қатар осы сапа критерилерінің бағасының бірінғай кешенді көзқарасын қалыптастыру маңызды міндеттердің бірі болып табылады. Бұл зерттеуде табиғи графит мұай қалдықтарын тазалау мақсатында адсорбент ретінде қолдану үшін өңделді. Термографениттің жылулық соққымен өңделген микроқұрылымдары мен морфологиясы Раман спектроскопиясында және сканирлеуші электронды микроскобында (**SEM**) зерттелді. Зерттеу барысында "графит - реагент-тотықтырғыш" жүйесіндегі термографенит түзілуі барысында тұрақсыз аралық термолиз реакциялары, яғни интеркалирленген графит қосылыстарының түзілуімен өтетін инновациялық иницирлеу процессі анықталды. Графит негізіндегі мұнай тазалау сорбенттері зерттеулері Қазақстандық ғылым мен техниканың дамуында өте маңызды және практикалық болашағы бар.

Кілт сөздер: термографенит, интеркалирленген графит қосылыстары, термоқұрылымсыздану, көміртек жазықтығы.