

С. О. Карабаев (д.х.н, проф., зав. каф.) <sup>1</sup>, И. П. Гайнуллина (к.х.н., доц.) <sup>1</sup>,  
А. В. Токарев (к.ф.-м.н., доц.) <sup>2</sup>, А. С. Квятковская (к.т.н., доц., зав. каф.) <sup>3</sup>,  
Д. Р. Алашева (асп.) <sup>1</sup>, С. А. Омуралиева (магистрант) <sup>1</sup>

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БУРОГО УГЛЯ КАРА-КЕЧЕ, ТВЕРДЫХ ПРОДУКТОВ ЕГО ПИРОЛИЗА И ТЕРМООБРАБОТКИ В АТМОСФЕРЕ КИСЛОРОДА ВОЗДУХА ПРИ 630 °С

<sup>1</sup> Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына, кафедра физической и коллоидной химии  
720033, Кыргызстан, г. Бишкек, ул. Абдумомунова, 328; e-mail: karabaev\_s@mail.ru

<sup>2</sup> Кыргызо-Российский Славянский университет им. Б.Н. Ельцина,  
кафедра электроники и микроэлектроники

720000, Кыргызстан, г. Бишкек, ул. Киевская 44; e-mail: tokarev\_andrean@mail.ru

<sup>3</sup> Уфимский университет науки и технологий, кафедра зеленой химии и ресурсосберегающих технологий  
450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32; e-mail: kvyatkovskay@mail.ru

S. O. Karabaev <sup>1</sup>, I. P. Gainullina <sup>1</sup>, A. V. Tokarev <sup>2</sup>,  
A. S. Kvyatkovskaya <sup>3</sup>, D. R. Alasheva <sup>1</sup>, S.A. Omuralieva <sup>1</sup>

## PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF KARA-KECHE BROWN COAL, SOLID PRODUCTS OF ITS PYROLYSIS AND THERMAL TREATMENT IN AIR OXYGEN ATMOSPHERE AT 630 °C

<sup>1</sup> Kyrgyz National University named after J. Balasagyn  
328, Abdumomunova Str., 720033, Bishkek, Kyrgyzstan; e-mail: karabaev\_s@mail.ru

<sup>2</sup> Kyrgyz-Russian Slavonic University named after B.N. Yeltsin  
44, Kievskaya Str., 720000, Bishkek, Kyrgyzstan; e-mail: tokarev\_andrean@mail.ru

<sup>3</sup> Ufa University of Science and Technology  
32, Zaki Validi Str., 450076, Ufa, Russia; e-mail: kvyatkovskay@mail.ru

Возможность использования бурых углей в качестве исходного сырья для производства углеродных сорбентов вызывает особый интерес. Получены и исследованы твердые продукты пиролиза и термообработки в атмосфере кислорода воздуха при 630 °С бурого угля Кара-Кече. Проведена сопоставительная характеристика морфологии поверхности, инфракрасных и энергодисперсионных спектров, удельной площади поверхности исследуемых образцов сорбентов. Установлено, что твердые продукты термообработки бурого угля Кара-Кече в присутствии кислорода воздуха (ТПТО-630) и без доступа кислорода воздуха (ПК-630) отличаются по своим адсорбционным свойствам от исходной пробы угля месторождения Кара-Кече (Кыргызстан).

**Ключевые слова:** адсорбция; бурый уголь; локальный элементный и функциональный анализ; поверхность; полукокс; сорбент.

Of particular interest is the possibility of using brown coal as a feedstock for the production of carbon sorbents. Solid products of pyrolysis and heat treatment of Kara-Kече brown coal at 630 °C in an oxygen atmosphere were obtained. A comparative characteristic of the surface morphology, infrared and energy-dispersive spectra, and the specific surface area of the studied sorbent samples was carried out. It has been established that the solid product of the heat treatment of Kara-Kече brown coal in the presence of atmospheric oxygen (SPHT-630) and without air oxygen (PC-630) differs in its adsorption properties from the original sample of coal from the Kara-Kече deposit (Kyrgyzstan).

**Key words:** adsorption; brown coal; local elemental and functional analysis; sorbent; semi-coke; surface.

Дата поступления 06.07.23

Бурый уголь традиционно используется как энергетическое и коммунально-бытовое топливо, для производства угольных брикетов, газообразного и жидкого топлива, углещелочных реагентов, гуминовых кислот, воска, металлургического кокса. Особый интерес вызывает возможность использования бурых углей в качестве исходного сырья для производства углеродных сорбентов. Это связано с тем, что уголь не только дешев и широко распространен во многих странах, но и обладает очень интересными свойствами и составом, что делает его эффективным адсорбентом для удаления различных органических и неорганических загрязнителей. В частности, бурые угли характеризуются повышенным содержанием фенольных, карбоксильных и гидроксильных групп, наличием свободных гуминовых кислот. Поэтому бурые угли, наряду с различными сортами древесины, скорлупой различных орехов, остатками стеблей и оболочками семян широко используют как исходное сырье при получении углеродных сорбентов.

Разработаны различные схемы получения углеродных сорбентов, которые включают подготовку исходного сырья, карбонизацию и активацию карбонизата газом (водяным паром или углекислым газом) <sup>1</sup>. Целый пласт экспериментальных исследований показал эффективность химической активации бурых углей различных месторождений для улучшения их сорбционных свойств <sup>2</sup>. Наряду с этим ведутся работы по исследованию возможности применения бурых углей в качестве исходного сырья для получения буроугольного полукокса – продукта, способного заменить кокс из дефицитных спекающихся каменных углей, применяемых в металлургических процессах <sup>3</sup>.

Настоящая работа является продолжением исследования <sup>4</sup> и посвящена получению сорбентов термообработкой бурого угля в кислородной и бескислородной средах и их анализу различными методами.

## Материалы и методы исследования

*Бурый уголь, твердые продукты его пиролиза и термообработки в атмосфере кислорода воздуха при 630 °С.* Для получения твердых продуктов пиролиза и термообработки бурого угля в атмосфере кислорода воздуха при 630 °С использовалась аналитическая проба угля месторождения Кара-Кече (Кыргызстан), представляющая собой порошок черного цвета с размерами частиц не более 0.25 мм. Влажность и зольность аналитической пробы бурого угля Кара-Кече (УК), определенные по методикам <sup>4</sup>, составляли  $W^a = 9.60\%$  и  $A^a = 5.62\%$  соответственно.

Термообработка аналитической пробы бурого угля при 630 °С осуществлялась в программируемой муфельной печи марки MZ2.5-N10, тонким слоем на кварцевой подложке в присутствии воздуха. Время установления заданной температуры муфельной печи составляло 30 мин. Сжигание топлива осуществлялось в течение 60 мин. Остывание образцов проходило в отключенной муфельной печи в течение 24 ч. Полученный твердый продукт термообработки бурого угля Кара-Кече в присутствии кислорода воздуха (ТПТО-630) при 630 °С представлял собой порошок серого цвета, с размерами частиц не более 0.25 мм. Влажность и зольность ТПТО-630 составляли  $W^a = 1.63\%$ , и  $A^a = 86.87\%$  соответственно.

Пиролиз аналитической пробы бурого угля Кара-Кече осуществлялся в стальном цилиндрическом реакторе размером 250×32 мм, расположенном в муфельной печи. Пробу нагревали при 630 °С без доступа воздуха. Время нагрева составляло 120 мин. Вывод первичной смолы, пирогенетической воды и первичного газа осуществляли через отводную металлическую трубку  $d=6$  мм. Измерение температуры в муфельной печи при полукоксовании проводилось с помощью термопары. Остывание образцов проходило в отключенной муфельной печи в течение 24 ч. Полученный образец полукокса из аналитической пробы бурого угля Кара-Кече (ПК-630) представлял собой черный, совершенно не спекшийся порошок с размерами частиц не более 0.25 мм. Выход целевого продукта в среднем составлял 60%. Влажность и зольность ПК-630 составляли  $W^a = 2.62\%$ , и  $A^a = 8.91\%$ .

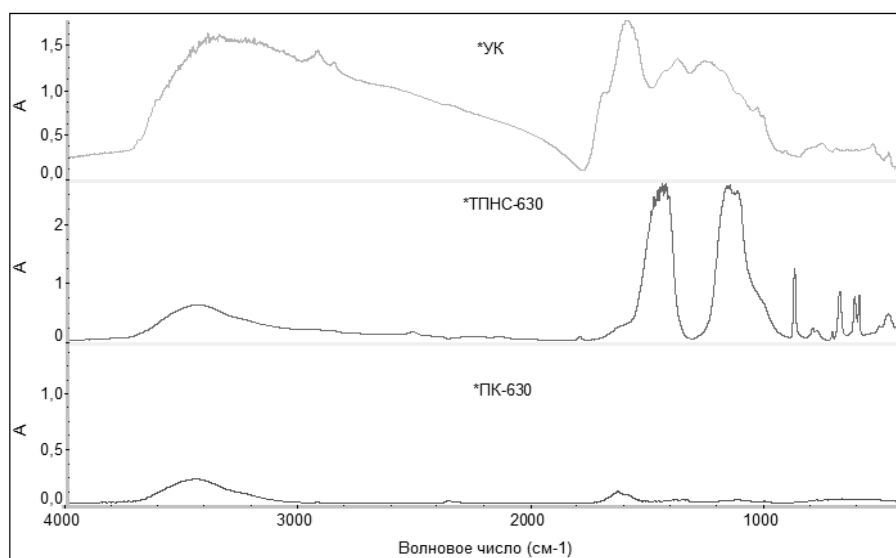
*Инфракрасная спектроскопия, растровая электронная микроскопия, энергодисперсионные спектры бурого угля, твердых продуктов его пиролиза и термообработки в атмосфере кислорода воздуха при 630 °С.* ИК-спектры образцов УК, ТПТО-630, ПК-630 записывались на ИК-Фурье-спектрометре Nicolet Avatar 370 GDTS в табличках с KBr в соотношении 1:300, в интервале значений частот 4000–400 см<sup>-1</sup>. Результаты измерений приведены на рис. 1.

При идентификации ИК-спектров, представленных на рис. 1, использованы табличные значения максимумов характеристических полос поглощения важнейших атомных группировок <sup>5</sup>. Результаты проведенного рассмотрения приведены в табл. 1.

Исследование морфологии поверхности образцов УК, ТПТО-630, ПК-630 проводилось на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA3. В качестве датчика использовался детектор вторичных электронов. Энергодисперсионные спектры (ЭДС) исследуемых образцов также получены на сканирующем электронном микро-

**Характеристические полосы поглощения бурого угля Кара-Кече (УК),  
твердых продуктов его пиролиза (ТПНС-630) и термообработки  
в атмосфере кислорода воздуха (ПК-630) при 630 °С**

| Группа                                                                                                                              | Частоты поглощения, см <sup>-1</sup> |            |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------|------------|
|                                                                                                                                     | УК                                   | ТПТО-630   | ПК-630     |
| Валентные колебания свободных -ОН групп в неассоциированных молекулах, межмолекулярные и внутримолекулярные водородные связи        | 3471-3346                            | 3439       | 3461       |
| Валентные колебания С-Н связей алифатических углеводородов                                                                          | 2921                                 | 2869       | 2930       |
| Валентные колебания групп С≡N                                                                                                       | -                                    | 2513, 2133 | 2361-2300  |
| Валентные колебания С=О в карбоксильных (Ar-COOH) и карбонильных группах (Ar-CHO), в аминокислотах и амидах                         | 1700                                 | 1796       | 1734       |
| Деформационные колебания Н-О-Н воды                                                                                                 | -                                    | -          | 1635       |
| Валентные колебания С=C, сопряженной с С=О или Ar (арил), полиароматические углеводороды, валентные колебания ароматического кольца | 1593                                 | 1490-1451  | 1559-1473  |
| Валентные колебания карбонат CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> и гидрокарбонат HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ионов                      | 1430                                 | 1448-1417  | 1458       |
| Валентные колебания С-О-Н в спиртах и О-Н в фенолах                                                                                 | 1380-1257                            | -          | 1386, 1353 |
| Валентные колебания HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup> и SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ионов                                             | 1169, 1116                           | 1149, 1119 | 1130       |
| Деформационные колебания С-Н в моно-, ди- и тризамещенных аренах                                                                    | 1028                                 | 1050-1030  | 1003       |
| Валентные и деформационные колебания Si-O, Si-O-Me, Si-C, Si-H                                                                      | 914-470                              | 875-471    | 780-428    |



**Рис. 1. ИК-спектры бурого угля Кара-Кече (УК), твердых продуктов его пиролиза (ТПНС-630) и термообработки в атмосфере воздуха (ПК-630) при 630 °С**

скопе TESCANA VEGA 3, но при использовании детектора энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Микрофотографии, рентгеноспектральный микроанализ образцов УК, ТПТО-630, ПК-630 приведены на рис.2.

Адсорбция метиленового голубого и метилового оранжевого, соответственно, из водных растворов на буром угле, твердых продуктах его пиролиза и термообработки в кислородсодержащей атмосфере воздуха при 630 °С. Гетерогенное равновесие в системе адсорбент–водный раствор красителя устанавливалось в течение 24 ч в суховоздушном термостате при T = 298 К. При этом первые 2 ч фазы

перемешивали через каждые 15 мин. По истечении 24 ч фазы разделяли на шприцевом фильтре с размерами пор 1–2 мкм. Определение составов водных растворов красителей осуществлялось спектрофотометрическим методом на спектрофотометре V721. Для водных растворов метиленового голубого измерения проводились на длине волны 670 нм, а для водных растворов метилового оранжевого – 400 нм. Во всех случаях использовались кюветы толщиной 1 см.

Изотермы адсорбции красителей из водных растворов на образцах УК, ТПТО-630, ПК-630 приведены на рис. 3.

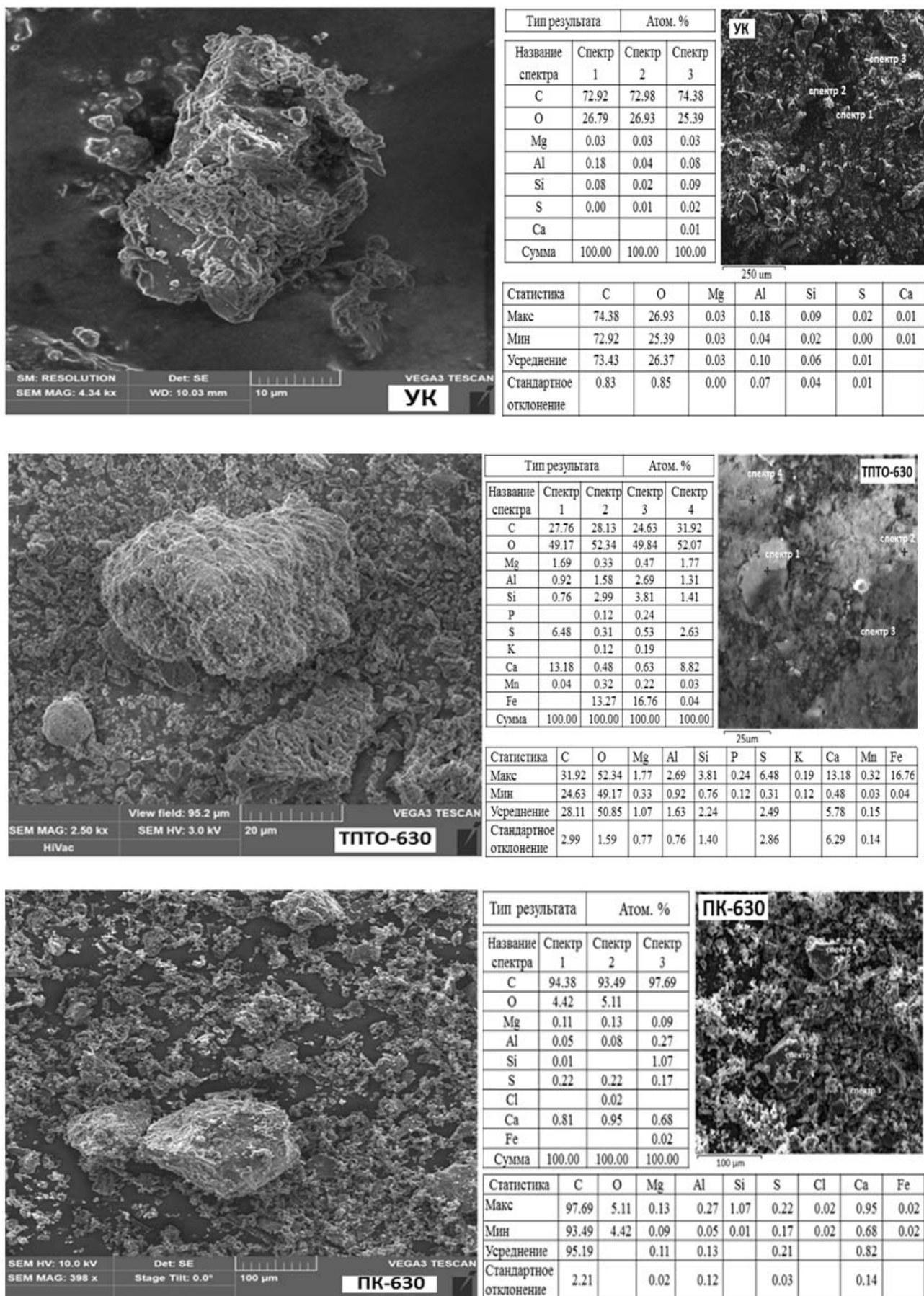


Рис. 2. Микрофотографии, рентгеноспектральный микроанализ бурого угля Кара-Кече (УК), твердых продуктов его пиролиза (ТПНС-630) и термообработки в атмосфере кислорода воздуха (ПК-630) при 630 °С

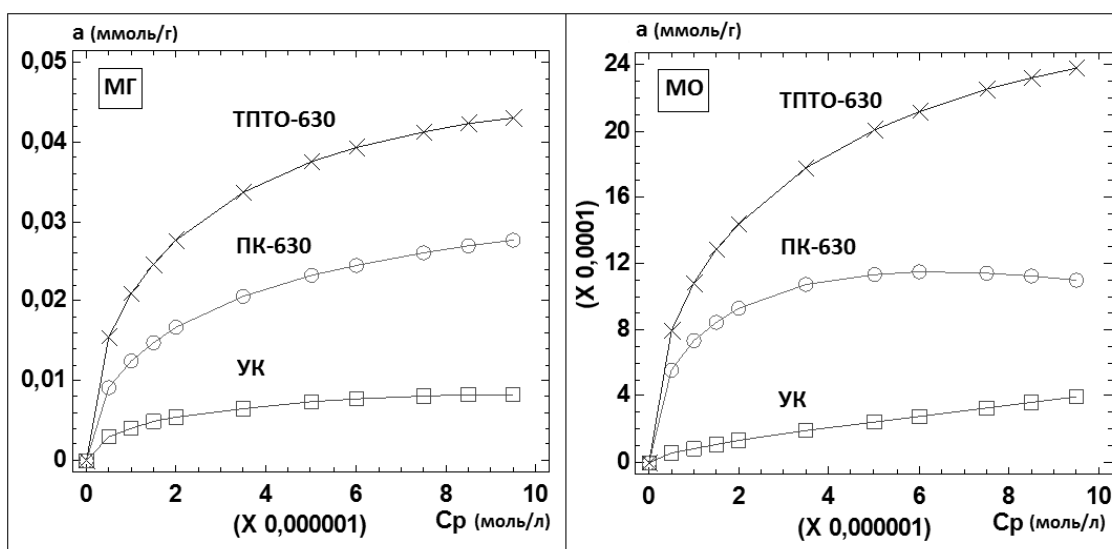


Рис. 3. Изотермы адсорбции метиленового голубого (МГ), метилового оранжевого (МО) из водных растворов на буром угле Кара-Кече (УК) <sup>6</sup>, твердых продуктах его пиролиза (ТПНС-630) и термообработки в атмосфере кислорода воздуха (ПК-630) при 630 °С

### Результаты и их обсуждение

Сопоставляя ИК-спектры на рис. 1 и при использовании данных табл. 1, можно отметить значительные изменения в функциональном составе образцов. Так, существенное уменьшение полосы поглощения в ИК-спектрах ТПТО-630, ПК-630, соответственно, по сравнению с УК в области  $3500\text{--}3400\text{ см}^{-1}$ , характеризующих колебания свободных -ОН групп, свидетельствует о снижении в них количества кристаллизационной воды <sup>5</sup>. Образец бурого угля Кара-Кече характеризуется наличием полосы поглощения в области  $2921\text{ см}^{-1}$ , что обусловлено валентными колебаниями С-Н связей алифатических углеводородов. Однако, для ТПТО-630, ПК-630 в данном диапазоне,  $2869$  и  $2930\text{ см}^{-1}$ , соответственно, наблюдаются лишь слабые полосы поглощения. Это связано с тем, что при термообработке угля происходит деструкция алифатических структур <sup>7, 8</sup>. В области частот  $2513\text{--}2133\text{ см}^{-1}$  для ТПТО-630 и  $2361\text{--}2300\text{ см}^{-1}$  для ПК-630 наблюдаются полосы поглощения, соответствующие валентным колебаниям групп  $\text{C}\equiv\text{N}$ , в спектре УК пики в данном диапазоне отсутствуют. Во всех спектрах присутствуют полосы поглощения, характеризующие валентные колебания карбонильных групп и ароматических систем, однако, уменьшение интенсивностей полос поглощения в спектрах ТПТО-630 ( $1490, 1451\text{ см}^{-1}$ ) и ПК-630 ( $1459, 1473\text{ см}^{-1}$ ) свидетельствует о разложении органической массы угля. В спектрах ТПТО-630 отсутствуют полосы поглощения в области  $1380\text{--}1260\text{ см}^{-1}$ , характеризующие валентные колебания С-О-Н в спиртах и О-Н в фенолах, что можно объяснить окислением спиртовых

групп до карбонильных, а фенолов до хинонов. Сравнительный анализ ИК-спектров УК и ТПТО-630 показывает практически полное совпадение характеристических полос поглощения, обусловленных наличием неорганических компонентов в составе исследуемых образцов. Так, в этих образцах присутствуют пики, обусловленные валентными колебаниями карбонат  $\text{CO}_3^{2-}$  и гидрокарбонат  $\text{HCO}_3^-$  ионов, валентными колебаниями гидросульфат  $\text{HSO}_4^-$  и сульфат  $\text{SO}_4^{2-}$  ионов, валентными и деформационными колебаниями Si-O, Si-O-Me, Si-C, Si-H. Вместе с тем, в спектре ПК-630 интенсивность этих полос очень низкая, что свидетельствует об удалении большей части золы в процессе низкотемпературного пиролиза. Таким образом, анализ ИК-спектров показывает, что в процессе термической обработки бурого угля при  $630\text{ °C}$  в атмосфере кислорода воздуха и бескислородной среде, протекают процессы окисления, деструкции и пиролиза, которые приводят к потере не только функциональных кислородсодержащих групп, алифатической периферии, но и минеральных компонентов (карбонаты, сульфаты, частично силикаты), являющихся, по всей видимости, составной частью золы уноса.

Из микрофотографий на рис. 2 видно, что образец бурого угля Кара-Кече представляет собой частицы осколочной формы, различной степени дисперсности. Размер частиц колеблется от  $500$  до  $200\text{ мкм}$ , на более крупных частицах хорошо различается слоистая структура. Твердый продукт термообработки угля Кара-Кече в атмосфере кислорода воздуха при  $630\text{ °C}$ , в основном представлен мелкодисперсными частицами размерами до  $2\text{ мкм}$ , которые имеют неправильную форму и

спаяны в конгломераты. Частицы полидисперсные, и в большинстве имеют сферическую форму. Присутствует также незначительное число частиц неправильной осколочной формы. Самые крупные частицы имеют размер порядка 100 мкм. Их поверхность имеет хорошо развитую губчатую, мшистую структуру, которая представляет собой остатки крупных частиц исходного бурого угля, не подвергшихся полному окислению. Образцы диспергированного угля Кара-Кече и полученного из него полукокса морфологически очень схожи. Они представлены как крупными частицами размером до 200 мкм, так и более мелкими, различной степени дисперсности и размерами вплоть до 200 нм. На более крупных частицах можно рассмотреть слоистость структуры. К различиям следует отнести наличие в образце полукокса фракции мелких частиц, как бы напыленных на поверхность более крупных, и распределенных по всей поверхности образца. Они, по всей видимости, представляют собой частицы, увлеченные потоком газа, выделяющегося в процессе термической обработки угля и осевшие впоследствии на его поверхность. В целом, можно сказать, что процесс коксообразования в заданных температурных режимах не привел к каким-либо существенным изменениям морфологии исходного угля Кара-Кече.

Результаты рентгеноспектрального микроанализа (ЭДС) аналитических проб бурого угля Кара-Кече, продуктов его термообработки в кислородной и бескислородной средах также приведены на рис. 2. Заметим, что энергодисперсионные спектры снимались с различных точек поверхности УК, ТПТО-630, ПК-630, соответственно. Видно, что локальный элементный состав образцов в этих точках поверхности существенно отличается. Это говорит о химической неоднородности как природного, так и термически обработанного образцов угля Кара-Кече.

Анализ локального элементного состава угля Кара-Кече, твердых продуктов его термообработки в кислородной и бескислородной средах (в атомных процентах) показывает существенное увеличение доли углерода в ПК-630 и ее уменьшение в ТПТО-630 по сравнению с УК. Для кислорода, напротив, наблюдается заметное уменьшение его в ПК-630 и увеличение в ТПТО-630 по сравнению с УК. Общее содержание зольных элементов (в атомных процентах) существенно увеличивается в ТПТО-630 и незначительно увеличивается в ПК-630 по сравнению с УК, соответственно. Необходимо отметить, что эти результаты хорошо согласуются с приведенными выше данными по зольности образцов УК, ТПТО-630, ПК-630, полученными традиционным способом.

Предельные значения удельной площади поверхности исследуемых образцов УК, ТПТО-630, ПК-630 установлены адсорбционным методом при использовании в качестве органических маркеров красителей метиленового голубого и метилового оранжевого. В <sup>4</sup> отмечалось, что площадь, занимаемая молекулой метиленового голубого, равна  $\omega = 0.69 \text{ нм}^2$ , а метилового оранжевого, соответственно,  $\omega = 0.64 \text{ нм}^2$ . Экспериментальные данные по адсорбции красителей из водных растворов на образцах УК, ТПТО-630, ПК-630, соответственно приведены на рис. 3. Легко видеть, что изотермы адсорбции представляют собой кривые Ленгмюровского типа. Это обстоятельство позволяет считать возможным связывание красителей на поверхностных адсорбционных центрах исследуемых углеродных сорбентов. При этом адсорбция метиленового голубого на образцах УК, ТПТО-630, ПК-630, существенно больше, чем метилового оранжевого.

Предельные адсорбции красителей на исследуемых сорбентах получены из данных рис. 3 при их рассмотрении в координатах уравнения Ленгмюра. Линеаризация соответствующих зависимостей осуществлялась при использовании пакета статистических программ демонстрационной версии «*Statgraphics Centurion*». Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Сравнительно высокие значения констант адсорбционного равновесия, приведенные в табл. 2, позволяют предположить, что взаимодействие красителей с поверхностными активными центрами сорбентов осуществляется, в основном, по механизму хемосорбции.

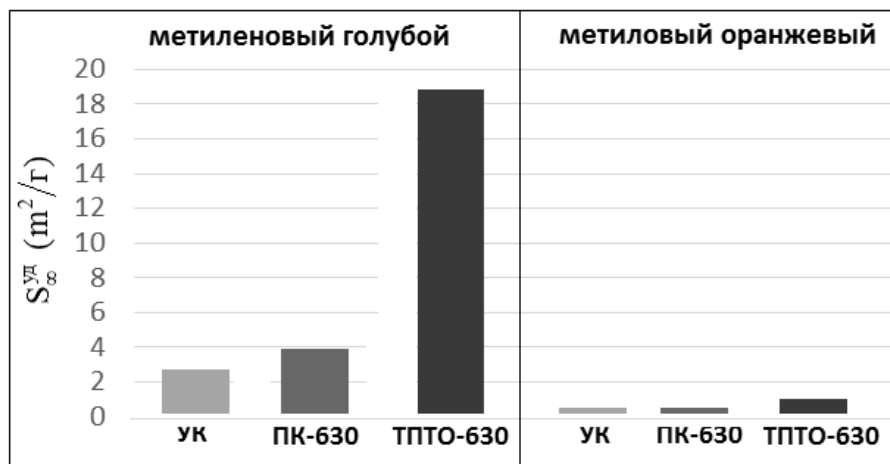
При использовании данных табл. 2 были рассчитаны предельные значения удельных площадей поверхности исследуемых образцов УК, ТПТО-630, ПК-630 (рис. 4). Видно, что удельная площадь поверхности, рассчитанная по метиленовому голубому, наибольшая для ТПТО-630 и наименьшая для бурого угля. Однако если удельная площадь поверхности определена по метиловому оранжевому, то она наибольшая для ТПТО-630 и одинаковая как для ПК-630, так и УК.

Таким образом, в процессе термической обработки бурого угля при 630 °С в атмосфере кислорода воздуха и бескислородной среде, протекают процессы окисления, деструкции и пиролиза, приводящие к потере не только функциональных кислородсодержащих групп, алифатической периферии, но и минеральных компонентов (карбонаты, сульфаты, частично силикаты), являющихся, по всей видимости, составной частью золы уноса.

Процесс коксообразования в заданных температурных режимах не привел к каким-либо су-

**Адсорбция красителей из водных растворов на буром угле Кара-Кече (УК), твердых продуктах его пиролиза (ТПНС-630) и термообработки в атмосфере кислорода воздуха (ПК-630) при 630 °С в линейных координатах уравнения Ленгмюра**

| Сорбат | Сорбент  | Уравнение линейной регрессии<br>$\frac{C_p}{A} = \frac{1}{A_{\infty}K} + \frac{C_p}{A_{\infty}}$ | $A_{\infty}$ ,<br>ммоль/г | $K$               |
|--------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| МГ     | ТПНС-630 | $C_p/A = 0.0000197 + 22.12C_p$                                                                   | 0.0452                    | $1.1 \cdot 10^6$  |
|        | ПК-630   | $C_p/A = 0.0000579 + 25.54C_p$                                                                   | 0.0392                    | $4.4 \cdot 10^5$  |
|        | УК       | $C_p/A = 0.000066 + 150.8C_p$                                                                    | 0.0066                    | $2.3 \cdot 10^6$  |
| МО     | ТПНС-630 | $C_p/A = 0.0000646 + 375.0C_p$                                                                   | 0.0027                    | $5.17 \cdot 10^6$ |
|        | ПК-630   | $C_p/A = 0.00033 + 846.36C_p$                                                                    | 0.0012                    | $2.6 \cdot 10^6$  |
|        | УК       | $C_p/A = 0.015 + 764.90C_p$                                                                      | 0.0013                    | $0.5 \cdot 10^5$  |



**Рис. 4. Пределы значения удельной площади поверхности аналитических проб бурого угля Кара-Кече (УК), твердых продуктов его пиролиза (ТПНС-630) и термообработки в атмосфере кислорода воздуха (ПК-630) при 630 °С, определенных по метиленовому голубому и метиловому оранжевому**

щественным изменениям морфологии исходного угля Кара-Кече.

Результаты рентгеноспектрального микроанализа (ЭДС) выявили изменение локального элементного состава угля Кара-Кече по сравнению с термообработанными образцами.

Установлено, что наибольшая площадь поверхности и, соответственно, максимальное значение адсорбции красителей наблюдается у образца термообработанного в присутствии кислорода воздуха угля ТПНС-630.

#### Литература

1. Козлов А.П., Зыков И.Ю., Дудникова Ю.Н., Цветков В.Э., Федорова Н.И., Исмагилов З.Р. Переработка бурых углей в эффективные сорбенты для решения задач охраны окружающей среды и повышения качества жизни // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – №3. – С.93-100.
2. Yurong D., Xiurong R., Meijun W., Qiang He, Liping Ch., Weiren B. Effect of impregnation methods on sorbents made from lignite for desulfurization at middle temperature // Journal of Energy Chemistry. 2013. – V.22, №5. – Pp.783-789.
3. Галевский Г.В., Аникин А.Е., Руднева В.В., Галевский С.Г. Применение буроугольных полукоксов в металлургии: Технологическая и экономическая оценка // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2016. – С.114-123.
4. Карабаев С.О., Локшина И.М., Субанкулова Д.А., Алашева Д.Р., Икрамова М., Мамаджанова А. Фи-

#### References

1. Kozlov A.P., Zykov I.Yu., Dudnikova Yu.N., Tsvetkov V.E., Fedorova N.I., Ismagilov Z.R. *Pererabotka burykh ugley v effektivnyye sorbenty dlya resheniya zadach okhrany okruzhayushchey sredy i povysheniya kachestva zhizni* [Processing of brown coal into effective sorbents to solve the problems of environmental protection and improve the quality of life]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kuzbass State Technical University], 2018, no. 3, pp. 93-100.
2. Yurong D., Xiurong R., Meijun W., Qiang He, Liping Ch., Weiren B. [Effect of impregnation methods on sorbents made from lignite for desulfurization at middle temperature]. *Journal of Energy Chemistry*, 2013, vol.22, is.5, pp.783-789.
3. Galevskiy G.V., Anikin A.Ye., Rudneva V.V., Galevskiy S.G. *Primeneniye burougol'nykh polukoksov v metallurgii: Tekhnologicheskaya i ekonomicheskaya otsenka* [Application of lignite semi-coke in

зико-химическая характеристика твердых продуктов термообработки угля Кара-Кече при 300 °С и 400 °С в атмосфере кислорода воздуха // Известия Национальной Академии Наук Кыргызской Республики. – 2023. – №1. – С.157-166.

5. Колесник И.В., Саполетова Н.А. Инфракрасная спектроскопия. – М: МГУ, 2011. – 88 с.
6. Карабаев С.О., Жоробекова М.Ж., Харченко А.В., Сарымзакова Б.К. Адсорбция органических красителей на золе и угле Кара-Кече // Вестник Кыргызского Национального университета. – 2016. – №3(87). – С.30-37.
7. Николаева Л.А. Разработка и структурные исследования окучкованного топлива из угольных отходов // Отходы и ресурсы. – 2017. – Т.4, №4. – С.1-12.
8. Галевский Г.В., Аникин А.Е., Руднева В.В., Галевский С.Г. Применение буроугольных полукоксов в металлургии: Технологическая и экономическая оценка // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2016. – С.114-123.

metallurgy: Technological and economic evaluation]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU* [Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnical University], 2016, pp.114 -123.

4. Karabayev S.O., Lokshina I.M., Subankulova D.A., Alasheva D.R., Ikramova M., Mamadzhanova A. *Fiziko-khimicheskaya kharakteristika tverdykh produktov termoobrabotki uglya Kara-Keche pri 300 °C i 400 °C v atmosfere kisloroda vozdukha* [Physical and chemical characteristics of solid products of heat treatment of Kara-Keche coal at 300 °C and 400 °C in an air oxygen atmosphere]. *Izvestiya Natsional'noy Akademii Nauk Kyrgyzskoy Respubliki* [Proceedings of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic], 2023, no.1, pp.157-166.
5. Kolesnik I.V., Sapoletova N.A. *Infrakrasnaya spektroskopiya* [Infrared spectroscopy]. Moscow, MSU Publ., 2011, 88 p.
6. Karabayev S.O., Zhorobekova M.Zh., Kharchenko A.V., Sarymzakova B.K. *Adsorbtsiya organicheskikh krasiteley na zole i ugle Kara-Keche* [Adsorption of organic dyes on ash and coal of Kara-Keche]. *Vestnik Kyrgyzskogo Natsional'nogo universiteta* [Bulletin of the Kyrgyz National University], 2016, no.3(87). pp.30-37.
7. Nikolayeva L.A. *Razrabotka i strukturnyye issledovaniya okuskovannogo topliva iz ugol'nykh otkhodov* [Development and structural studies of agglomerated fuel from coal waste]. *Otkhody i resursy* [Waste and resources], 2017, vol.4, no.4., pp.1-12.
8. Galevskiy G.V., Anikin A.Ye., Rudneva V.V., Galevskiy S.G. *Primeneniye burougol'nykh polukoksov v metallurgii: Tekhnologicheskaya i ekonomicheskaya otsenka* [Application of lignite semi-coke in metallurgy: Technological and economic evaluation]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU* [Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnical University], 2016, pp.114-123.