

Лютенко А. О., канд. техн. наук, доц.,  
Строкова В. В., советник РААСН, д-р техн. наук, проф.,  
Лебедев М. С., аспирант,  
Дмитриева Т. В., аспирант,  
Николаенко М. А., канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СЫРЬЯ С ПОЗИЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЕГО В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ\*

michaelL1987@yandex.ru

Дается описание микроструктурных особенностей всего спектра техногенного сырья Коркинского угольного месторождения с позиции применения его в качестве компонентов дорожно-строительных материалов, включая различные вяжущие и грунтобетоны на их основе.

**Ключевые слова:** микроструктура, техногенное сырье, глинистая составляющая, высокорреакционное вещество, вяжущие, грунтобетоны.

Давно известно, что от полноты изучения свойств и особенностей применяемого сырья зависит как область его применения, так и «степень востребованности» его положительных качеств в синтезируемых строительных материалах. Применение микроскопических исследований позволяет не только подтвердить ранее полученные результаты по исследованию механических, физических и химических характеристик, но и открыть ранее неизвестные факты, позволяющие увидеть новые горизонты изучаемой тематики. В данной работе представлен анализ микроструктурных особенностей техногенного сырья Коркинского угольного месторождения (КУМ) с позиции применения его в качестве компонентов дорожно-строительных материалов, полученных на программно-аппаратном комплексе, включающем высоко разрешающий растровый электронный микроскоп «Хитачи-S-800», совмещенный с персональным компьютером, располагающимся в ЦКП МГУ им. М.В. Ломоносова.

Коркинский разрез на протяжении последних лет является одним из ведущих «добытчиков» угля на карте России. Сопутствующие продукты в виде попутно-добываемых пород, представленных вскрышей из четвертичных покровных суглинков и опоковидных глин, углистых коренных пород, третичных глин и скальных пород, складированы в отвалах на прилегающей к карьере территории. В непосредственной близости дислоцируются и техногенные образования из вмещающих пород, состоящих в основном из аргиллитов. Отдельную территорию занимают отвалы отходов углеобогащения, полученные путем совместного складирования аргиллитов, алевролитов, песчаников и угля. Анализ физико-механических свойств и минералогического состава представленных материалов свидетельствует о том, что отходы углеобог-

щения – это крупнообломочные и песчаные образования, в состав которых входят крупно- и мелкодисперсные обломки различного происхождения, вскрышные породы представляют собой глинистые образования, обломки аргиллитов – крупнообломочный материал.

Различное происхождение пород обуславливает различие в химическом и минералогическом составе. В связи с полиминеральностью и генетическими особенностями отходы КУМ характеризуются большим разнообразием в микростроении, типе и характере структурных связей, что подтверждается данными растровой электронной микроскопии.

Глина опоковидная представляет собой полидисперсную полиминеральную композицию, состоящую преимущественно из глинистых минералов, кварца. Своеобразным каркасом породы является глинистая составляющая, в основной массе которой равномерно распределены отдельные обломки кварца, остатков диатомовых водорослей и других минералов (рис. 1). Формирующаяся при этом структура близка к матричной, для которой характерно присутствие сплошной неориентированной глинистой массы с вкраплениями неконтактирующих между собой песчаных и пылеватых зерен [1]. На микроснимках глинистое вещество представлено тонкодисперсными хлопьеобразными скоплениями (рис. 1). При более высоком увеличении (рис. 2) наблюдается тонкое чешуйчатое вещество. Диаметр отдельных чешуек глинистого вещества не превышает 2 мкм, а толщина – 150...200 нм. Края фрагментов чешуек неравномерные, рваные, сами чешуйки часто свернуты.

Исходя из размеров таких образований, часть глинистого вещества является рентгеноаморфной. Как известно, глинистые минералы подразделяются на 2 типа, один из которых включает рентгеноаморфные и псевдокристал-

лические, а второй кристаллические минералы. Первый тип объединяет только две группы (аллофана и имогилита). Подавляющая же масса глинистых минералов имеет кристаллическое строение [2, 3]. Присутствие рентгеноаморфного вещества (RAS) свидетельствует о наличии высокорекционноспособного компонента, который может обеспечивать, в частности, протекание пуццолановых реакций. Можно предположить, что RAS сложено глинистым веществом незавершенной стадии минералообразования. Такое высокоактивное вещество может быстро вступать в реакцию с вяжущими в известково- и цементно-глинистых композициях, способствуя равномерному распределению продуктов новообразований по объему системы, что будет положительно сказываться на физико-механических характеристиках получаемых строительных материалов.

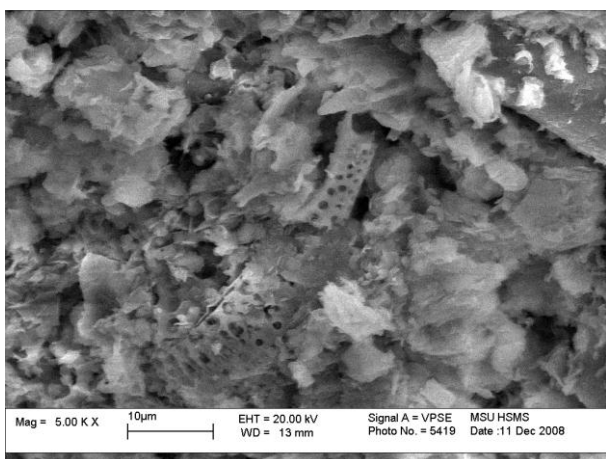


Рисунок 1. Скопление глинистой составляющей в глине опоковидной

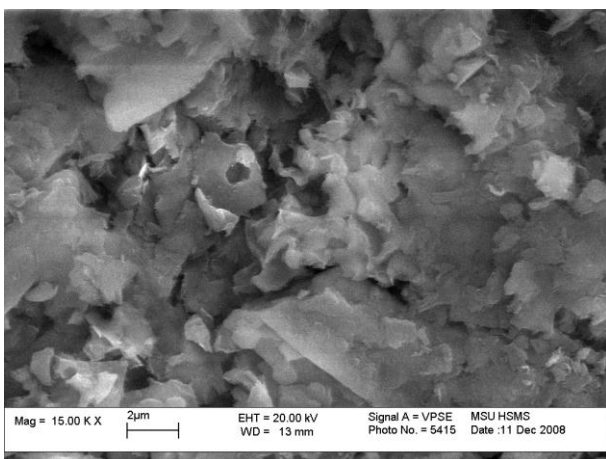


Рисунок 2. Структура глинистых частиц в глине опоковидной

Помимо этого, достаточно распространены обломки диатомовых водорослей (рис. 1, 3), отличающиеся тем, что имеют «своеобразный» панцирь из аморфного кремнезема, остающийся после отмирания водорослей [4]. Эти остатки имеют пористую структуру с размером пор до 2 мкм.

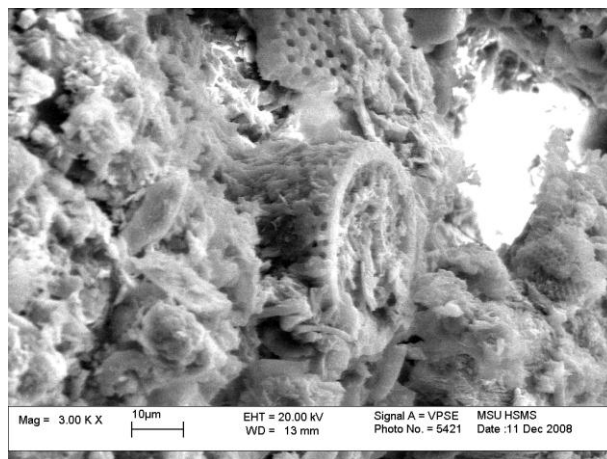


Рисунок 3. Обломки диатомовых водорослей в глине опоковидной

Наибольшее распространение получили они в опоке (рис. 4). Поры в панцирях имеют правильную изометрическую форму с диаметром от 300...400 нм до 4–5 мкм. Размер пор зависит от возраста и вида отмерших микроорганизмов, которых на сегодняшний день насчитывается свыше 10 тысяч. Исходя из морфологии органических остатков, их структуры, можно говорить о наличии различных видов палеонтологических остатков в исследуемых породах. Диатомеи подразделяются на центрические и пеннатных [5], остатки панцирей которых присутствуют в исследуемой пробе (рис. 5). Водоросли диатомовые центрические характеризуются круглой, эллиптической, треугольной, четырехугольной и многоугольной формой створок с радиальным, тангенциальным или беспорядочным расположением структурных элементов, нередко имеются выросты, шов всегда отсутствует [6] (рис. 5, а). Пеннатные водоросли отличаются двусимметричным строением панциря, имеют в основном бисимметричную (перистую) структуру створок и осевое поле, (рис. 5, б).

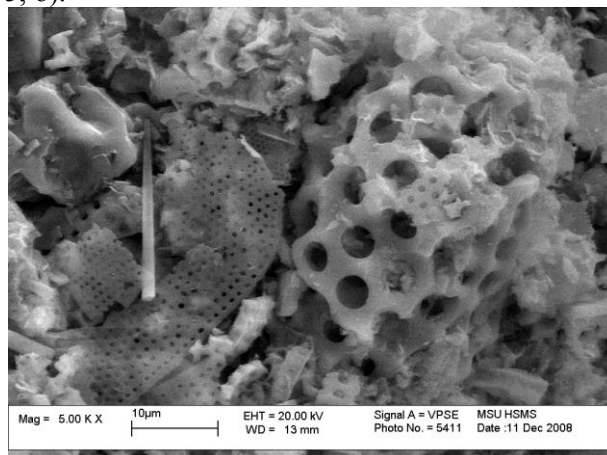


Рисунок 4. Фрагменты остатков диатомовых водорослей различной пористости

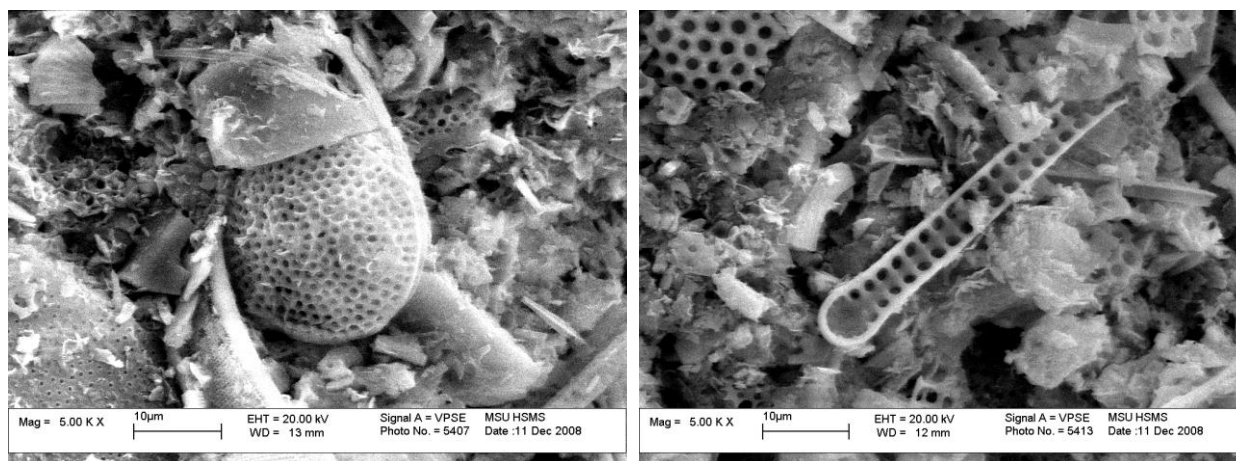


Рисунок 5. Остатки панцирей различных видов диатомей:  
*а* – центрических; *б* – пеннатных

Также присутствуют обломки сохранившейся правильной структуры: кольцеобразные структуры с диаметром примерно 37–40 мкм и

толщиной кольца около 11 мкм (рис. 6). Это образование имеет сотовую структуру с диаметром отверстий 250...400 нм (рис. 6).

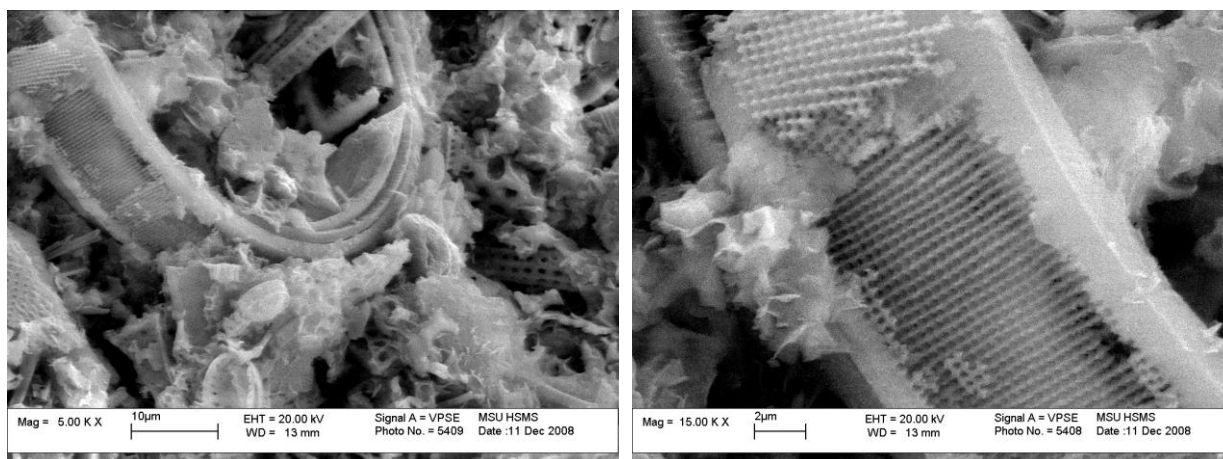


Рисунок 6. «Кольцеобразные» структуры в опоке

Описанные пористые структуры отмерших диатомей могут стать отличным каркасом для прорастания новообразований в гидратированных цементных, известковых, композиционных вяжущих и скелетом получаемых композиций, «армирующим» и упрочняющим матрицу всей системы в целом. Мелкодисперсные обломки панцирей могут являться активным компонентом таких вяжущих, способствовать росту новых фаз из продуктов реакций, формируя новые центры кристаллизации.

Мелкодисперсные отходы углеобогащения в виде частиц аргиллита и угля размером 1–3 мм по ГОСТ 3344–83 [7] был отнесен к песку очень мелкому. Отдельные зерна представляют собой плотноцементированную массу, сложенную слоистыми образованиями (рис. 7). При большом увеличении видны скопления пластинчатых микроагрегатов глинистых частиц (рис. 8).

Пластинки имеют различную форму и размер, они формируют сплошную матрицу.

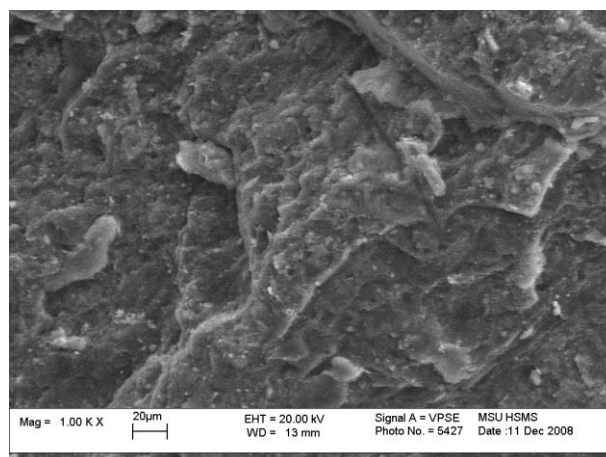


Рисунок 7. Общий вид поверхности мелкодисперсных отходов углеобогащения

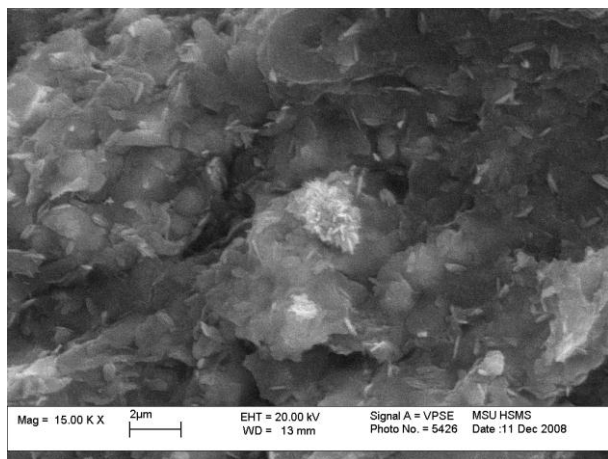


Рисунок 8. Глинистые образования в отходах углеобогащения

Мелкие глинистые частицы в большинстве своем скручены, свернуты и на микрофотоснимках выглядят как кристаллы размером 300...600 нм. В образце хорошо заметен остаток микрофауны в виде спикеры губки.

Крупнообломочные отходы углеобогащения в виде обломков аргиллитов, алевролитов и угля размером до 100 мм имеют достаточно рыхлую, почкообразную структуру с вкраплениями продолговатых нитевидных обломков (рис. 9).

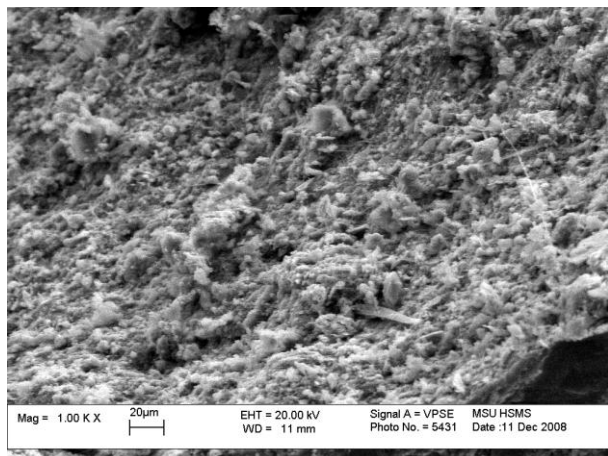


Рисунок 9. Общий вид поверхности крупнообломочного отхода углеобогащения

При крупном увеличении эти нитевидные и игловидные образования имеют удлиненную форму с размерами в длину до 50 мкм, диаметром 0,5...1 мкм (рис. 10).

Структура оказывается в своем роде «армированной» такими «стержнями». Нитевидные образования при более высоком увеличении состоят из отдельных глобул, соединенных в цепочки (рис. 11). Размер отдельных глобул достигает 1 мкм.

Также наблюдаются глобулярные образования правильной шарообразной формы с диаметром от 1 до 25 мкм (рис. 12). Описанные аморфные образования могут стать активным компонентом как различных вяжущих веществ,

минеральных наполнителей, так заполнителей в бетонах и грунтобетонах.

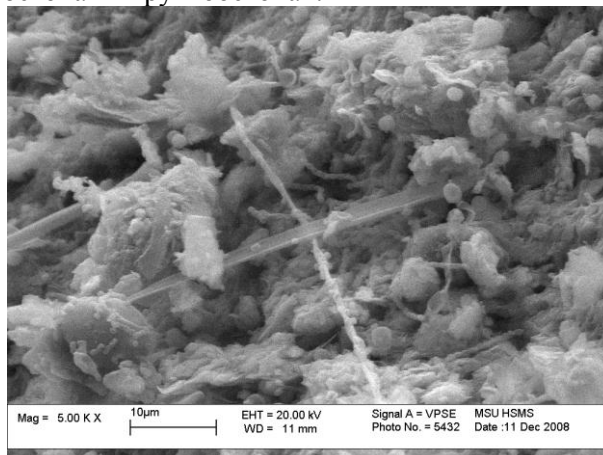


Рисунок 10. Нитевидные и игловидные образования в крупнообломочных отходах углеобогащения

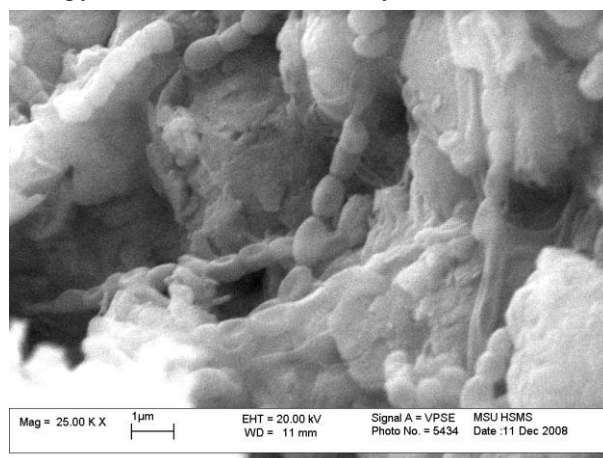


Рисунок 11. Цепочки из глобулярных образований

Микроструктура пород угленосной толщи, складированных в гидроотвале Коркинской углемойки и в отвалах вскрышных пород разреза «Коркинский», очень схожа и представляет собой рыхлую смесь полифракционного состава с преобладанием тонких фракций (рис. 13, а, б). Однако стоит отметить тот факт, что в общей массе частицы вскрыши значительно крупнее, что объясняется предварительным дроблением и переработкой отходов углеобогащения.

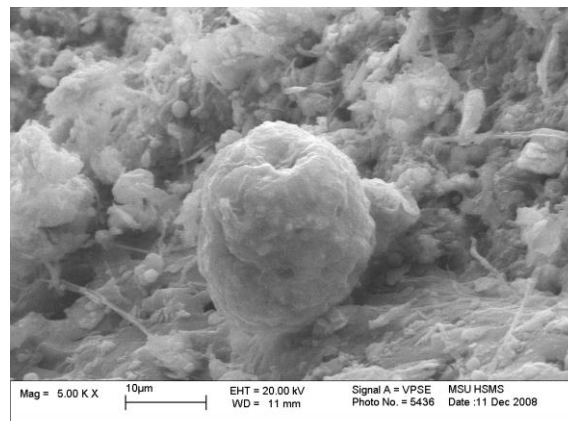
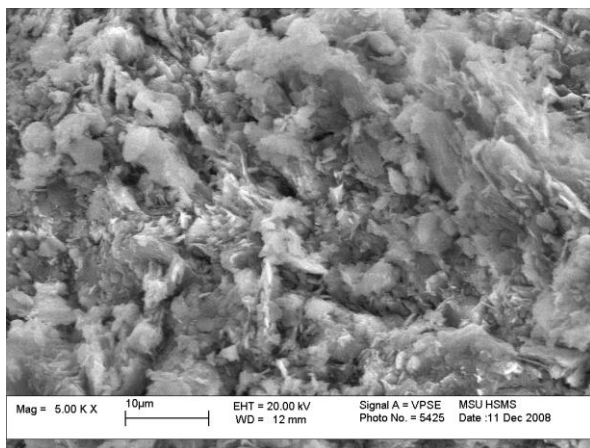
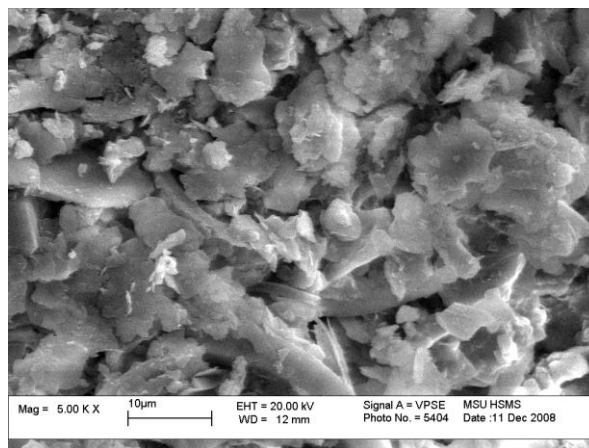


Рисунок 12. Глобулярные образования в отходах углеобогащения



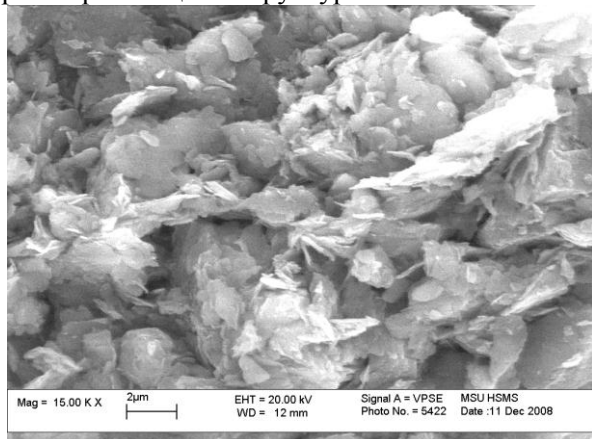
*a*



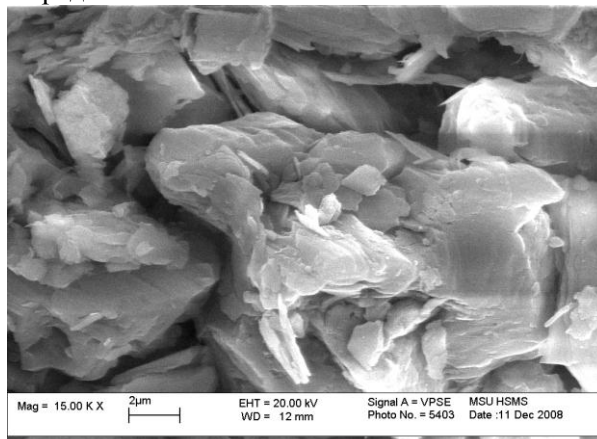
*б*

Рисунок 13. Микроструктура пород угленосной толщи:  
*a* – отходы углеобогащения; *б* – вскрышные породы

При высоком увеличении в отложениях четко просматривается глинистая составляющая (рис. 14). В микроструктурах наблюдается некоторая ориентация структурных элементов в



*a*



*б*

Рисунок 14. Глинистые отложения в породах угленосной толщи:  
*a* – отходы углеобогащения; *б* – вскрышные породы

Листообразные пластинчатые глинистые частицы весьма совершенной спайности плотно сочленены, отдельные пакеты не расформированы. Наиболее существенные различия наблюдаются в форме и размере самих частичек: в отходах углеобогащения их размеры колеблются в больших пределах от 1 до 5 мкм, они часто свернуты и удлинены в одном направлении; в породах вскрыши глинистые частицы по общей массе более крупные, четко видно текстурное напластование изометричных листообразных пластинок.

Вмещающие породы месторождения, представленные аргиллитами, представляют собой достаточно плотные образования с открытыми порами (рис. 15).

Структура техногенного грунта близка к скелетной, в которой каркасом служат зерна кварца, а покрывающие их глинистые фазы выполняют роль связующих коагуляционных контактов, через которые контактируют зерна квар-

направлении напластования. Однако структура пород вскрыши менее плотная, видны четкие контуры глинистых агрегатов, сложенных предположительно каолинитом.

Такое устройство структуры данного материала обуславливает его низкую водостойкость: при насыщении влагой возможно разрушение глинистых контактов и разжижение всей породы [1].

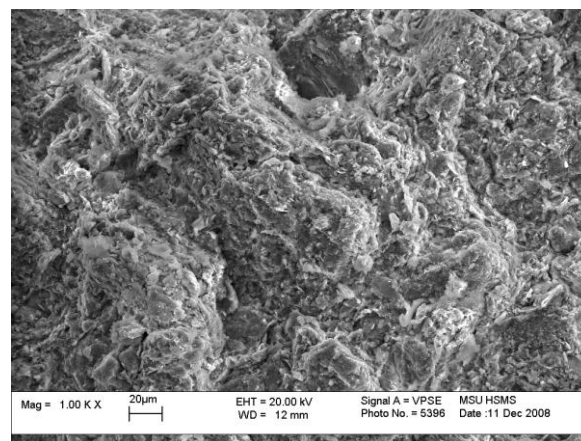


Рисунок 15. Общий вид поверхности аргиллитов

Сплошная глинистая масса характеризуется наличием изометричных, часто свернутых пластинок глинистых частиц размером до 5 мкм (рис. 16). При крупном увеличении хорошо видна изометрическая форма пластинок глины (рис. 17). Наблюдаемые на поверхности чешуек глобулярные образования, вероятно, представляют собой остатки золота, нанесенного при катодном напылении при подготовке к съемке.

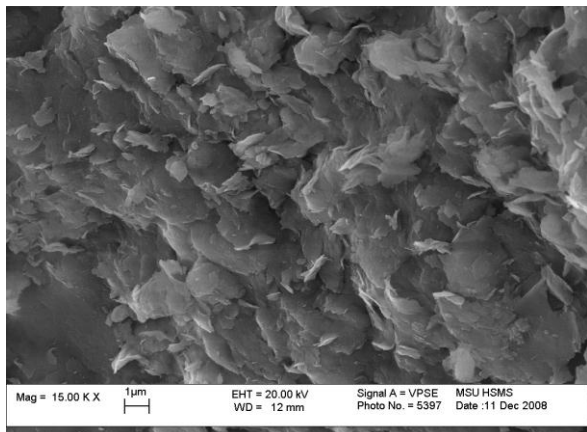


Рисунок 16. Глинистые «рубашки» на зернах кварца в аргиллитах

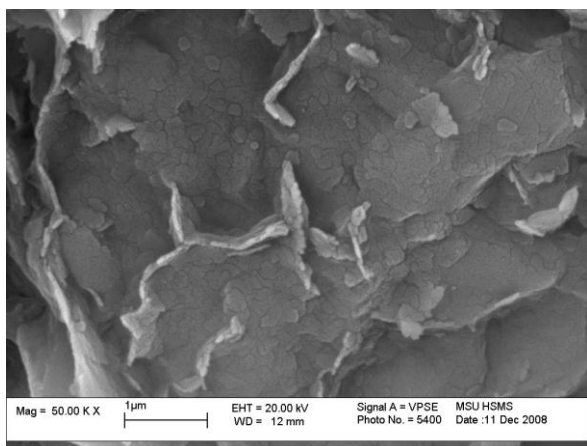


Рисунок 17. Микроструктура глинистых чешуек в аргиллитах

Исходя из микроструктурных характеристик и минерального состава данных техногенных образований, можно сделать вывод о возможности использования данных видов пород при получении различных дорожно-строительных материалов. Входящее в состав техногенного сырья высокорекреационное веще-

ство в виде панцирей диатомей, глобулярных образований и рентгенаморфной глинистой составляющей может являться активным компонентом различных вяжущих веществ и компонентов дорожно-строительных материалов, а преобладающие глинистые фазы могут выполнять роль активного заполнителя в грунтобетонных композициях.

*\*Статья подготовлена и опубликована при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы" по теме "Утилизация отходов горнодобывающих предприятий в дорожном строительстве" (ГК № П1377 от 2 сентября 2009 г.)*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Осипов, В.И. Микроструктура глинистых пород [Текст] / В.И. Осипов, В.Н. Соколов, Н.А. Румянцева. – М.: Недра, 1989. – 211 с.
2. Миловский, А.В. Минералогия [Текст] / А.В. Миловский, О.В. Кононов. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 312 с.
3. Котельников, Д.Д. Глинистые минералы осадочных пород [Текст] / Д.Д. Котельников, А.И. Конюхов. – М.: Недра, 1986. – 247 с.
4. Диатомовые водоросли [Электронный ресурс] // Материал из Википедии. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Bacillariophyta>.
5. Водоросли диатомовые центрические [Электронный ресурс] // Энциклопедии, словари, справочники / геологический словарь. – Режим доступа: <http://www.cnsnb.ru/AKDiL/0042/base/RV/010047.shtm>.
6. Водоросли диатомовые пеллицильные [Электронный ресурс] // Энциклопедии, словари, справочники / геологический словарь. – Режим доступа: <http://www.cnsnb.ru/AKDiL/0042/base/RV/010047.shtm>.
7. ГОСТ 3344–83. Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия. – Введ. 1985–01–01. – М.: Госстрой СССР, 1985. – 12 с.