

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ КЕРАМИЧЕСКИХ ГЛИН АПТСКОГО ЯРУСА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЦЧЭР

А. В. Крайнов

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 27 декабря 2014 г.

Аннотация: установленный с помощью прецизионных методов исследований минеральный состав аптских глин северной части ЦЧЭР представлен каолинитом и иллитом. Эти минералы поступали из источников сноса, расположенных южнее рассматриваемой территории. По химическому составу глины относятся к кислым и полукислым разностям и пригодны для изготовления различных керамических изделий.

Ключевые слова: апт, каолинит, иллит, керамические глины.

MATERIAL COMPOSITION OF CERAMIC CLAY APTIAN STAGE NORTHERN PART OF CBER

Abstract: setting with precision research methods of the Aptian clay of the northern part of CBER mineral composition is represented by kaolinite and illite. These minerals come from source areas to the south of the territory. On the chemical composition of clay are sour and semi-acid differences and are suitable for the manufacture of various ceramic products.

Keywords: apt, kaolinite, illite, ceramic clay.

В настоящее время керамические глины являются дефицитным сырьём, спрос на которое всё время растёт. Большинство известных месторождений и проявлений тяготеет к аптским отложениям северной части Центрально-Черноземного района [1]. Рассматриваемая территория охватывает Орловскую, Липецкую, а также северные районы Курской и Воронежской областей, в пределах которых автором проводились работы по поискам керамических глин. Литология и фации аптских отложений изложены в работе [2]. В настоящей статье излагаются результаты исследования вещественного состава глин по образцам из разрезов Лукошкинского, Чибисовского, Малоархангельского, Большекарповского месторождений, а также ряда проявлений керамических глин: Черкасские Дворики, Соколье, Танеевка, Малоархангельское, Большекарповское, Малокарповское, Мармыжинское, Васильевское (рис. 1). Кроме того, были учтены данные предшественников, и материалы, освещенные в ранних работах автора [3–12].

Исследование минерального состава проводилось электронномикроскопическим и рентгенодифрактометрическим методами. Электронномикроскопический анализ используется нами для определения морфологии глинистых частиц и их размеров. Изображения получены на растровом электронном микроскопе JEOL 6380 LV, рентгеновская съёмка осуществлялась при помощи дифрактометра Empyrean B.V. PANalytical в центре коллективного пользования научным оборудованием ВГУ.

Минеральный состав глин

Лукошкинское и Чибисовское месторождения. По данным многолетней эксплуатации Лукошкинского и Чибисовского месторождений, многочисленным технологическим испытаниям, проведенным при оценке

качества тугоплавких глин этих месторождений, а также проявлений в составе глиноносной толщи апта Липецкой области, выделяется четыре типа, соответствующие следующим керамическим группам.

1. Глины светло-серые, серые, местами слабо железненные и окрашенные в вишневые и красные тона, полукислые, с низким количеством красящих окислов. Это наиболее тонкодисперсные среднепластичные глины с содержанием фракции менее 0,005 мм более 60 %, фракции от 0,06 мм до 0,01 мм в пределах 22–30 %, менее 0,001 мм от 45,6 до 66,1 %. Пластичность составляет 15,0–22,7.

2. Глины серые, красновато-бурые и вишневые, неоднородные по пластичности, с незначительной примесью песка. Содержание фракции 0,005 мм составляет не менее 50 %, фракции 0,06–0,01 мм колеблется в пределах 11,55–27,63 % (среднее 23 %).

3. Глины серые, светло-серые, бурые желтовато-бурые, красные, с примесью до 5–7 % тонкозернистого песка и алевролита, умеренно пластичные, грубодисперсные, реже дисперсные. Резко отличаются от глин I и II групп снижением тонко-дисперсной фракции до 30–40 % и возрастанием фракции 0,006–0,01 мм до 32–40 %.

4. Глины красновато-бурые, красные, пятнистые, плотные с мелкими линзочками глинистого песка, в целом, полукислые, реже кислые, с высоким содержанием красящих окислов. Эти глины, количество которых незначительно, по всем показателям, кроме повышенного содержания Fe_2O_3 , близки к глинам I типа.

В иммерсионных препаратах агрегаты глинистых частиц всех типов имеют изометрично-чешуйчатую, пластинчато-листовидную, щепковидную формы [3]. На электронномикроскопических снимках (рис. 2) каолинит наблюдается в пластинках различных размеров и формы.

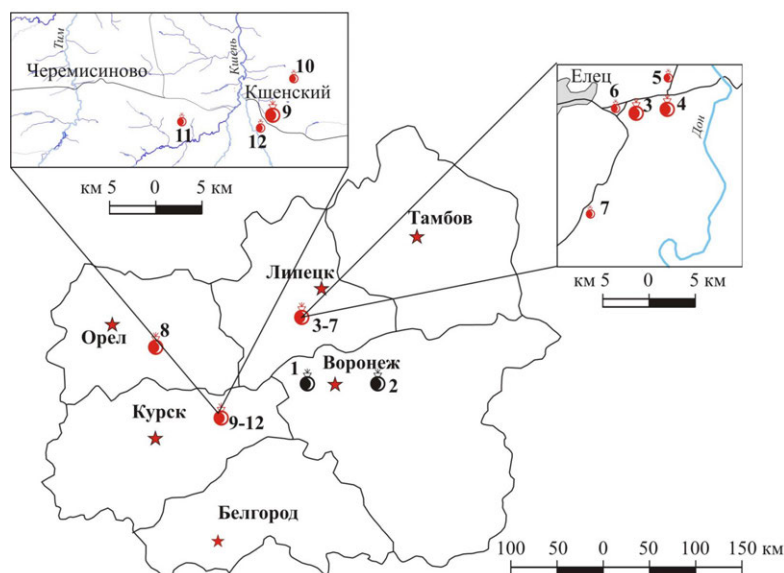
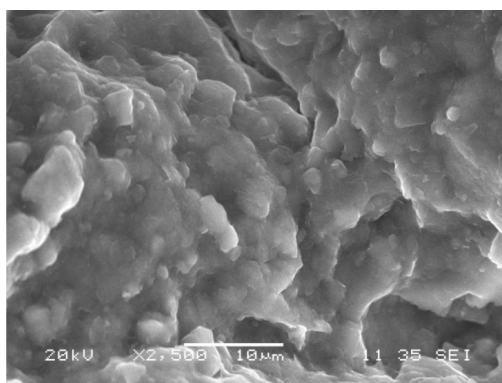
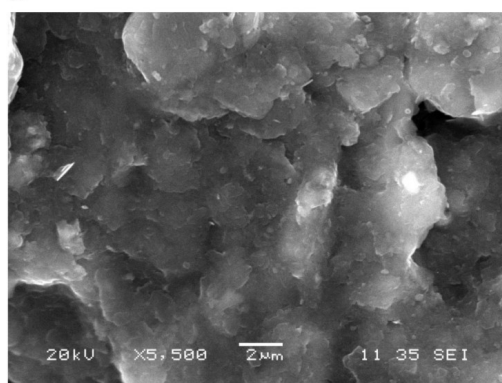


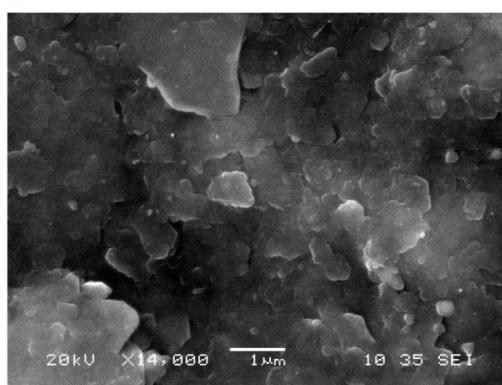
Рис. 1. Схема расположения месторождений и проявлений керамических глин. 1-2 – огнеупорные глины: 1 – Латненское, 2 – Криушанское; 3-12 – тугоплавкие глины: 3 – Чибисовское, 4 – Лукошкинское, 5 – Черкасские Дворики, 6 – Соколье, 7 – Танеевка, 8 – Малоархангельское, 9 – Большекарповское, 10 – Малокарповское, 11 – Мармыжинское, 12 – Васильевское.



А



Б



В

Имеются плотные псевдогексагональные кристаллы с ровными линиями ребер и четкими углами. Иногда в кристаллах заметны уступы и торцевые грани, но чаще всего каолинит наблюдается в плотных частях неправильной формы. Иллит отмечается в полупрозрачных пластинках, нередко вытянутых, имеющих обычно четкие ограничения [3].

В некоторых образцах каолинит наблюдается в округлых формах со слабовыраженными псевдогексагональными очертаниями, а иногда с изменением псевдогексагональных пластинок, что выражается в расплывчатости их контуров, появлении зазубрин. Для этого минерала характерны два типа изменений: 1 – обломанность и появление зазубрин с четкими контурами, 2 – осветление границ пластинок, "сглаживание" углов, приобретение зазубрин с нечеткими контурами. Эти изменения обусловлены воздействием среды бассейна, поскольку каолинит устойчив в кислых средах, а в морских щелочных условиях становится неустойчивым.

На дифрактограммах фракции менее 0,005 мм тугоплавких глин (рис. 3) четко выражены рефлексы каолинита 7,18; 3,57; 2,32; 1,77 Å и диоктаэдрической полиморфной разновидности иллита. Последняя определяется по широким ассиметричным отражениям d , равным 10,1 Å, изменяющим свое значение при насыщении образца глицерином до 9,8–9,96 Å, и $d=5,0$ Å, уменьшающимся до 4,96 Å в насыщенном состоянии. Уменьшение значения d в иллите при насыщении глицерином может свидетельствовать о наличии в ее структуре незначительного количества пакетов смешаннослойного минерала иллит+монтмориллонит. Следы последнего устанавливаются на дифрактограммах по незначительным рефлексам (18 Å) в насыщенных глицерином образцах [4].

Рис. 2. Электронномикроскопические снимки кристаллов каолинита Лукошкинского месторождения. Увеличение: А-2500х, Б-5500х, В-14000х Г – 10000х.

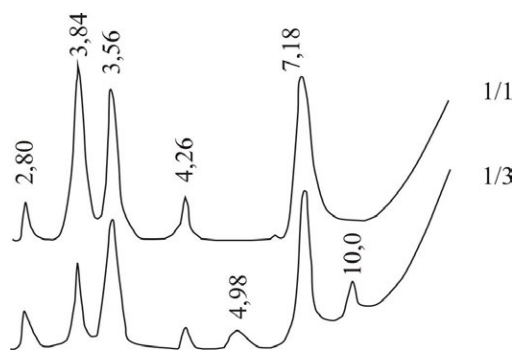


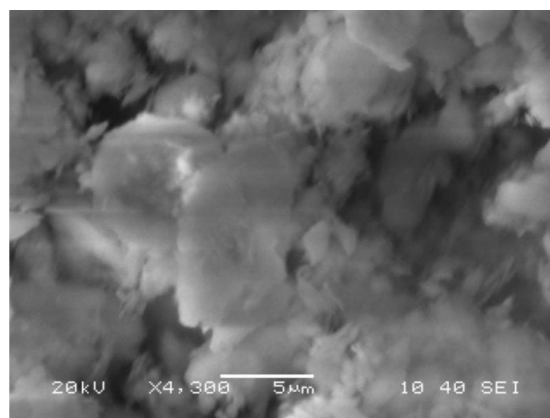
Рис. 3. Дифрактограммы аптских глин Лукошкинского месторождения.

Интенсивность рефлексов каолинита по разным образцам глин различна, что указывает на его изменяющееся количество. Плохая окристаллизованность каолинита и структурная неупорядоченность по оси «b» отличает его от каолинита огнеупорных глин Латненского месторождения [5, 6, 13, 14] и, вероятно, является следствием осаждения глинистых частиц в щелочной морской среде. В этих условиях и происходит разупорядочение структуры каолинита, на что указывает уменьшение количества рефлексов типа hk. В отличие от каолинита, окристаллизованность иллита более высокая, о чем свидетельствует большое количество хорошо выраженных рефлексов. В некоторых образцах наблюдается небольшая примесь триоктаэдрического иллита (гидробиотит). Иногда встречаются сильно вытянутые частицы с двумя параллельными гранями вдоль удлинения, представляющие иллит.

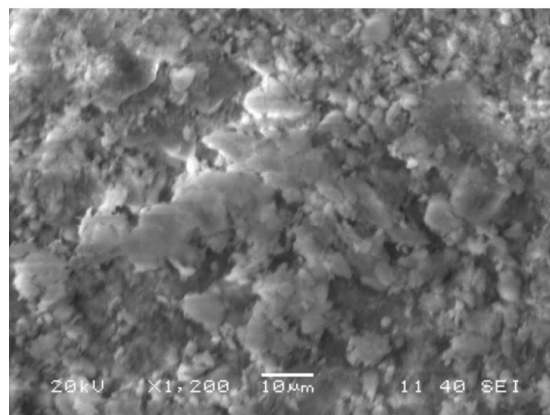
В целом в глинах на долю глинистой фракции приходится 56 %. Содержание каолинита в этой сумме колеблется от 30 до 72 %, в среднем 54–60 %, иллита – от 20 до 50 %, в среднем 32–36 %, монтмориллонита – от 0 до 20 %, в среднем 6–10 %. Отмечается незначительное количество тонкораспыленного углестого вещества. Содержание псаммито-алевритистой фракции (остаток на сите 0,005 мм) в среднем по глинам составляет 44 %. Она состоит преимущественно из кварца, содержание которого колеблется от 25,4 до 100 %, (среднее 68,6 %). Отмечается примесь полевых шпатов от 4,0 до 10,8 % (8,4 %), лимонита от 0,4 до 19,6 % (2,7 %), халцедона от единичных знаков до 1,4 % (1,0 %), реже слюд – до 3,6 %, карбонатов – до 1,0 %. В единичных знаках отмечается циркон, рутил, ильменит, гранат, дистен, лейкоксен, ставролит, марганцевые минералы.

Большекарповское месторождение. В его пределах выделяется четыре основных типа глин: 1 – пестроцветная умереннопластичная, 2 – светло-серая алевритовая с невысокой пластичностью, 3 – темно-серая алевритистая, светлоглушущая, 4 – табачно-зеленая высокопластичная. Такой важный показатель как пластичность, влияющий на формовочные свойства глин, во многом определяется количеством примеси кварца.

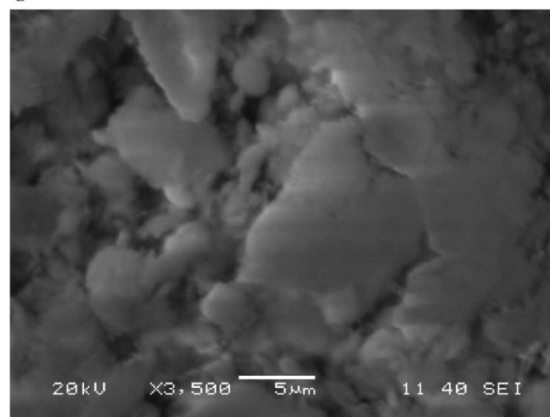
На электронномикроскопических снимках глин морфология частиц каолинита и иллита (рис. 4) схожа с вышеописанной для каолинита Лукошкинского месторождения. Терригенный каолинит представлен частицами неправильной формы, в которых изредка просматриваются грани кристаллитов этого минерала.



A



B



B

Рис. 4. Электронномикроскопические снимки кристаллов каолинита Большекарповского месторождения. Увеличение: А-4300х, Б-1200х, В-3500х.

Дифрактометрический анализ проб показал, что минеральный состав глин иллит-каолинитовый (каолинит – 75–80 %, иллит – 20–25 %) (рис. 5А). Он выдержан по всей толще, меняются только процентные соотношения этих минералов, а также количественная примесь кварца.

Гидросудисто-каолинитовый состав глин аптского возраста довольно выдержан практически на всей территории развития лагунно-морских фаций. Меняется только соотношение глинистой и кварцевой компонент. Так на дифрактограмме глины из Малоархангельского месторождения (рис. 5Б) отражение с $d=3,34 \text{ \AA}$, по интенсивности выше рефлекса $10,1 \text{ \AA}$, соответствующего иллиту. Поэтому можно считать, что в образце присутствует кварц в количестве около 5 %.

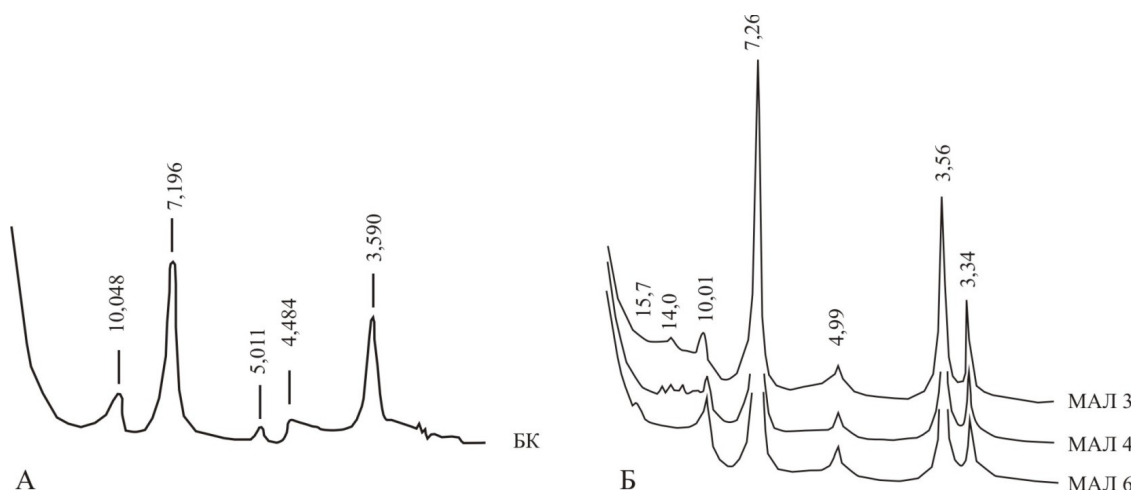


Рис. 5. Диффрактограмма глин месторождений Большая Карповка (А) и Малоархангельское (Б).

Химический состав глин

Химический состав глин, определяемый соотношением минеральных фаз, обуславливает их керамические свойства. На рассмотренных месторождениях все пробы по содержанию в них глинозема относятся к полукислым (28–14 %), по количеству красящих оксидов (Fe_2O_3 и TiO_2) – с высоким содержанием (>3 %) и средним содержанием (1,5–3,0 %). По химическому составу наиболее благоприятными для производства керамических изделий являются глины с SiO_2 65–75 %, Al_2O_3 – 13–20 %, Fe_2O_3 – 3–6 %, CaO до 5 %. Весьма вредна примесь SO_3 .

Высококачественные керамические глины имеют низкую температуру спекания, а интервал спекания, когда происходит образование кристаллизационных структур в формуемом изделии, должен быть не менее 200 °С. При обжиге глины должны иметь плотный, спекшийся черепок без деформаций, пятен и выплавок. Коэффициент чувствительности к сушке колеблется от 0,91 до 1,07, интервал спекания лежит в пределах 1200°–1280°С. Предел прочности на сжатие обожженных черепков при температуре 1150°–520° составляет 1160 кг/см². Черепок светло-оранжевый.

На Лукошкинском месторождении по вещественному составу выделяются 4 группы керамического сырья (табл. 1), каждой из которых отвечает свой литологический тип, рассмотренный выше.

I группа. Её составляют глины с наибольшим содержанием глинозема и показателем огнеупорности. Коэффициент чувствительности к сушке колеблется от 0,91 до 1,07, интервал спекания лежит в пределах 1200–1280 °С. Предел прочности на сжатие обожженных черепков, имеющих светло-оранжевый цвет, при температуре 1150°С – составляет 520–1160 кг/см².

II группа. Содержание Al_2O_3 падает по сравнению с таковым в I группе (14,67–19,84 %). Количество кремнезема в глинах этой группы варьирует в пределах 66,06–74,50 %. Среднее содержание Fe_2O_3 незначительно возрастает. При обжиге черепок приобретает темно-оранжевый или коричневый цвета.

III группа. Содержание Al_2O_3 варьирует в широких пределах (7,40–22,19 %). При этом средние содержания глинозема меньше, чем в глинах второй группы. Из-за резкого снижения тонкодисперсной фракции глины при обжиге не спекаются, черепок окрашен в яркие тона. Предел прочности на сжатие колеблется от 231 до 616 кг/см².

IV группа. Количество глин этой группы незначительно. Их показатели кроме содержания Fe_2O_3 , близки к глинам I группы. Однако, повышенное содержание гидроокислов железа при обжиге приводит к вспучиванию.

На *Большекарповском месторождении* в настоящее время осуществляется добыча глин по 10 сортам, но в производстве керамической плитки основной интерес представляют сорта БК-4 (глина пестроцветные) и БК-7 (глина светло-серая), БК-8 (глина темно-серая окрашенная), БК-10 (глина табачно-зеленая), нумерованные в таблице в порядке глубины залегания (табл. 2).

I группа (БК-4). Пестроцветная глина имеет среднее содержание глинозема (Al_2O_3) – 23,5 % (но не менее 21 %); кремнезема (SiO_2) – 61,5 % (но не более 64 %); красящих оксидов ($Fe_2O_3+TiO_2$) – 7,25 % (табл. 2). Она обладает широким интервалом спекания, огнеупорностью 1250 °С [15], при обжиге дает красно-коричневый плотный черепок. Хорошо подходит в качестве основы для облицовочной и напольной глазурованной плитки в чистом виде или в смеси со

Таблица 1

Химический состав и показатель огнеупорности глин Лукошкинского месторождения

| Керамические группы | Содержание в % | | | Показатель огнеупорности, °С |
|---------------------|----------------|-------------|-----------|------------------------------|
| | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | |
| I | 61,66–70,04 | 17,43–25,25 | 2,25–7,07 | 1525–1670 |
| II | 66,06–74,50 | 14,67–19,84 | 1,37–6,60 | 1485–1610 |
| III | 61,12–81,88 | 7,40–22,19 | 1,18–7,25 | 1520–1600 |
| IV | 61,10–71,80 | 14,70–22,87 | 5,04–7,25 | 1385–1550 |

Таблица 2

Химический состав и показатель огнеупорности глин Большекарповского месторождения

| № пробы | Керрамические группы | Показатель огнеупорности, °С | Содержание в % | | | | |
|---------|----------------------|------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|
| | | | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | ппп |
| 1 | I (БК-4) | >1580 | 59,18 | 1,02 | 24,36 | 4,34 | 8,72 |
| 2 | II (БК-7) | >1580 | 62,45 | 1,14 | 23,53 | 2,62 | 7,90 |
| 3 | III (БК-8) | 1560 | 74,92 | 1,56 | 15,69 | 0,80 | 5,70 |
| 4 | IV (БК-10) | 1500 | 53,85 | 1,08 | 24,62 | 7,95 | 9,86 |

Таблица 3

Химический состав и показатель огнеупорности глин Малоархангельского месторождения

| № п/п | № пробы | Интервал отбора, м | Показатель огнеупорности, °С | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | ппп |
|-------|---------|--------------------|------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|
| 1 | МАЛ 3 | 6,0–7,0 | 1580 | 64,96 | 0,97 | 20,93 | 2,58 | 7,62 |
| 2 | МАЛ 4 | 7,0–8,0 | 1580 | 63,58 | 1,02 | 21,24 | 3,5 | 7,91 |
| 3 | МАЛ 5 | 8,0–9,5 | 1500 | 58,23 | 1,01 | 21,52 | 7,37 | 8,77 |
| 4 | МАЛ 6 | 9,5–10,5 | 1480 | 63,26 | 0,96 | 19,38 | 6,18 | 7,36 |
| 5 | МАЛ 7 | 10,5–11,5 | 1500 | 59,75 | 1,01 | 20,74 | 5,86 | 9,31 |

среднепластичными глинами и суглинками. Невысокое содержание водорастворимых солей делает ее довольно чувствительной к разжижению. Высокое содержание плавней в глине позволяет уменьшить содержание полевошпатных материалов в шликере напольной плитки.

II группа (БК-7). Светло-серая глина имеет среднее содержание глинозема (Al₂O₃) – 22,5 % (но не менее 19,5 %); кремнезема (SiO₂) – 62,8 % (но не более 66 %); красящих оксидов (Fe₂O₃+TiO₂) – 4,12 % [15]. Она относится к алевроитовым и содержит достаточно много пылеватых частиц, что при невысокой пластичности, обуславливает хорошую разжижаемость. Использование совместного помола глин и отошающих добавок позволяет получить довольно текучий шликер, а также улучшить форму гранул пресс-порошка при сушке в атомизаторах, то есть увеличить насыпную плотность пресс-порошка и уменьшить неравномерность прессования.

III группа (БК-8). Темно-серая глина имеет среднее содержание глинозема (Al₂O₃) – 19,5 % (но не менее 18,5 %); кремнезема (SiO₂) – 62,8 % (но не более 68 %); красящих оксидов (Fe₂O₃+TiO₂) – 3,90 % [16]. Ввиду великолепной разжижаемости она подходит в качестве основной глины для шликера напольной плитки. При обжиге дает кремневый черепок.

IV группа (БК-10). В табачно-зеленой глине среднее содержание глинозема – 26,2 % (но не менее 22,0 %); кремнезема – 64,2 % (но не более 66 %); красящих оксидов (Fe₂O₃+TiO₂) – 5,45 % [15]. Она обладает хорошей пластичностью и широким интервалом спекания. Может применяться в качестве добавки в клинкер облицовочной плитки, при недостаточной пластичности местных глин и суглинков, или в качестве основного пластичного сырья, если по каким-либо причинам необходимо увеличить содержание в клинкере непластичных компонентов (например, для снижения водопоглощения или усадки черепка).

Глины Малоархангельского месторождения по содержанию глинозёма (Al₂O₃) – полукислые; с высо-

ким количеством красящих оксидов (TiO₂ и Fe₂O₃) (таблица 3).

В целом, показатели сходны с таковыми у глин Лукошкинского Чибисовского и Большекарповского месторождений. Согласно ГОСТ 9169-75 «Сырье глинистое для керамической промышленности», из-за повышенного содержания красящих оксидов глины не пригодны для изготовления фарфоровых, фаянсовых, художественных, хозяйственных, а также электротехнических изделий. Глины пригодны для изготовления: керамической плитки для внутренней и наружной облицовки, канализационных труб, химически стойких изделий.

Выводы

Глинистые минералы аптских пород, сформировавшиеся в лагунно-морской зоне [1, 17], имеют иллит-каолиновый состав, унаследованный от размывных образований в источниках сноса [18] и довольно выдержанный на рассматриваемой территории.

Меняются только соотношения глинистых минералов и количество кварцевой примеси. Отмечается разрушение кристаллов каолинита в связи с их преобразованием в щелочной лагунно-морской среде и некоторое разупорядочение кристаллической структуры. Это подтверждается данными других прецизионных исследований опубликованных автором в совместных статьях [19–22]. По химическому составу глины относятся к кислым и полукислым разностям, хорошо формуются, спекаются и пригодны для изготовления различных керамических изделий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-05-31159 мол_а

The reported study was supported by RFBR, research project No. 14-05-31159 мол_а

ЛИТЕРАТУРА

1. Савко, А. Д. Нерудные полезные ископаемые Черноземья / А. Д. Савко, Г. В. Холмовой, С. А. Ширшов // Труды научно-исследовательского института геологии Воронеж. гос. ун-та. – Вып. 32. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. – 314 с.
2. Крайнов, А. В. Литология и фации аптских отложений северной части ЦЧЭР в связи с поисками керамических глин / А. В. Крайнов // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2015. – Вып. 1. – С. 29–40.
3. Андреенков, В. В. Естественные отделочные и облицовочные материалы из осадочных пород северо-востока Воронежской антеклизы / В. В. Андреенков, А. Д. Савко // Труды научно-исследовательского института геологии Воронеж. гос. ун-та. – Вып. 15. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. – 94 с.
4. Андреенков, В. В. Аптские керамические глины Липецкой области / В. В. Андреенков // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2000. – Вып. 5 (10). – С. 148–158.
5. Савко, А. Д. Минерогения аптских отложений Воронежской антеклизы. Статья 1. Огнеупорные и керамические глины / А. Д. Савко [и др.] // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – Вып. 1. – 2011 г. – С.116–136.
6. Бортников, Н. С. Структурно-морфологические особенности каолинита различных стадий литогенеза глинистых пород (на примере Воронежской антеклизы) / Н. С. Бортников, В. М. Новиков, А. Д. Савко, А. В. Крайнов [и др.] // Литология и полезные ископаемые, 2013. – № 5. – С. 426–440.
7. Крайнов, А. В. Результаты изучения тугоплавких глин участка "Соколье" (Липецкая область) / А. В. Крайнов // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – Воронеж. – 2009. – № 2. – С.79–84.
8. Крайнов, А. В. Характеристика вещественного состава и строения глинистых пород аптского яруса (Липецкая область, Елецкий район) / А. В. Крайнов, Д. А. Дмитриев // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – Воронеж. – 2010. – № 1. – С.296–299.
9. Крайнов, А. В. Вещественный состав огнеупорных и тугоплавких глин аптского яруса северо-восточного склона Воронежской антеклизы / А. В. Крайнов // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – Воронеж. – 2014. – № 1. – С. 296–299.
10. Крайнов, А. В. Аптские тугоплавкие глины участка «Черкасские дворики» (Липецкая область) / А. В. Крайнов // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – Воронеж. – 2014. – Вып. 3. – С. 109–112.
11. Жабин, А. В. Новая трактовка генезиса аптских отложений Воронежской антеклизы / А. В. Жабин, А. Е. Звонарев, Д. А. Дмитриев // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: материалы Пятого Всероссийского совещания. – Ульяновск: УлГУ, 2010. – С. 142–146.
12. Жабин, А. В. Глинистые минералы осадочного чехла Воронежской антеклизы / А. В. Жабин, А. Д. Савко, В. И. Сиротин // Труды научно-исследовательского института геологии Воронеж. гос. ун-та. – Вып. 51. – Воронеж: Изд-во ВГУ. – 2008. – 92 с.
13. Савко, А. Д. Литология аптских отложений междуречья Дон–Ведуга–Девича / А. Д. Савко, В. П. Михин // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2000. – Вып. 3 (9). – С. 56–68.
14. Савко, А. Д. Литология и полезные ископаемые аптских отложений междуречья Дон–Ведуга / А. Д. Савко, В. П. Михин, Г. В. Холмовой // Труды научно-исследовательского института геологии Воронеж. гос. ун-та. – Вып. 26. – Воронеж: Изд-во ВГУ. – 2004. – 111 с.
15. ТУ 5751–002–35428869–2012. Глины тугоплавкие красножгущиеся месторождения «Большая Карповка» для производства глазурованной керамической плитки. – п. Кшенский, 2012. – 3 с.
16. ТУ 5751–001–35428869–2012. Глины тугоплавкие светло-серые месторождения «Большая Карповка» для производства керамического кирпича. – п. Кшенский, 2012. – 3 с.
17. Савко, А. Д. Воронежская антеклиза. Справочное руководство и путеводитель / А. Д. Савко. – Воронеж. – 2000. – 129 с.
18. Савко, А. Д. Фанерозойские коры выветривания и связанные с ними отложения Воронежской антеклизы, их неметаллические полезные ископаемые: автореф. дисс. ... докт. геол.-минер. наук / А. Д. Савко – Воронеж, 1984. – 551 с.
19. Бортников, Н. С. О количественной взаимосвязи кристаллохимических и термических свойств каолинита / Н. С. Бортников, А. П. Жухлистова, Г. О. Пилоян [и др.] // ДАН. – 2009. – Т. 428. – № 4. – С. 515–518.
20. Бортников, Н. С. Изотопный состав кислорода каолиновых пород как отражение различных стадий их литогенеза / Н. С. Бортников, В. М. Новиков, Е. О. Дубинина [и др.] // ДАН. – 2011. – Т. 438. – № 3. – С. 5–7.
21. Бортников, Н. С. История каолинита в коре выветривания и связанных с ней месторождениях глин по данным ЭПР / Н. С. Бортников, Р. М. Минеева, А. Д. Савко [и др.] // ДАН. – 2010. – Т. 433. – № 2. – С.227–230.
22. Бортников, Н. С. Железо в каолинитах каолиновой и бокситоносной кор выветривания гранитов по данным ЭПР / Н. С. Бортников, Р. М. Минеева, В. М. Новиков [и др.] // ДАН. – 2008. – Т. 423. – № 6. – С.788–791.

Воронежский государственный университет

Крайнов А. В., ведущий инженер НИИ Геологии
E-mail: aleksey_vsu_geo@mail.ru
Тел.: 8-952-548-47-72

Voronezh State University

Krainov A. V., the Master Engineer of SRI of Geology
E-mail: aleksey_vsu_geo@mail.ru
Tel.: 8-952-548-47-72