

АССОЦИАЦИИ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ДРЕВНИХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ – ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРСКИХ ЗОН КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА ТАТАРСКОГО СВОДА

В данной статье дана минералогическая, петрографическая характеристика коровой формации Татарского свода, детально рассмотрены вопросы формирования глинистых минералов ряда площадей. Выделены ведущие ассоциации глинистых минералов и проанализировано их развитие как в зонах профиля коры выветривания, так и в пределах изученных площадей Татарского свода, установлена связь минерального состава глинистого вещества и пористости.

Ключевые слова: кристаллический фундамент, кора выветривания, порода, минерал, каолинит, хлорит, иллит, смешанослойная фаза, трансформные преобразования, пористость.

В теле кристаллического фундамента Татарского свода Волго-Уральской области в процессе геологического изучения данной территории было установлено развитие формации древних кор выветривания (КВ) додевонского возраста, которая была вскрыта бурением многочисленных глубоких скважин (Лапинская, Журавлев, 1967). Коровая формация является переходной между породами кристаллического фундамента и осадочным чехлом. Мощности профилей кор выветривания изменчивы и варьируют в широких пределах от 0,4-0,5 м в центральной части Южно-Татарского свода до 15,0-25,0 м по периферии свода, в частности, в зоне Камских разломов и на территории Северо-Татарского свода (Ситдикова, 1968). По литературным данным известно, что мощности рифейских кор достигают 100-120 м (Докембрийские коры выветривания, 1975).

Изучение пород древних кор выветривания проводилось по ряду скважин площадей Северо-Татарского и Южно-Татарского сводов с применением комплексного подхода исследования. В данной статье отражены результаты изучения пяти наиболее крупных площадей: Акташской, Лениногорской, Елабужской, Бондюжской и Чистопольской.

Было установлено, что в пределах изученных площадей породы фундамента, подвергшиеся процессам выветривания, представлены микроклиновыми, биотитовыми, гранат-биотитовыми, кварц-плагиоклазовыми и другими типами гнейсов и плагиогнейсов. В процессе выветривания материнские породы кристаллического основания Татарского свода претерпевали изменения, которые констатируются сменой минералогического состава, структур, текстур пород и приводят к формированию специфической формы пустотно-порового пространства, обусловленной развитием систем трещиноватости и составом новообразованных глинистых минералов, выполняющих пустоты, поры и микротрещины (Сидорова и др., 2012).

Для пород коры выветривания фундамента изученной территории характерным является наличие систем трещин различного характера: наклонные, реже субвертикальные и субгоризонтальные, что устанавливается визуально при макроскопическом изучении кернового

материала. Углы наклона трещин относительно оси керна варьируют в широких пределах, наиболее часто встречающиеся – 40°-65° к оси керна. При этом отдельные интервалы глубин характеризуются одновременным развитием нескольких систем трещиноватости. По характеру выполнения трещинного пространства выделяются следующие типы: открытая трещиноватость и трещины, заполненные минеральным веществом, такими как хлорит, каолинит, иллит, а так же тонкодисперсными минералами – кварц, полевые шпаты или кальцит. В отдельных случаях по поверхности трещин могут развиваться рудные минералы: пирит и гидроокислы железа. Поверхности трещин могут быть с «зеркалами скольжения» или неровными, шероховатыми, инкрустированными следами и пятнами вторичных минералов, сохраняя при этом следы движения блоков пород. Наличие различных систем трещиноватости указывает на изменчивый характер геодинамических напряжений в теле фундамента (Ситдикова, 2005). Сформированное в результате этих процессов трещинно-пустотное пространство облегчало миграцию флюидов и способствовало дальнейшему преобразованию, разложению порообразующих минералов, формированию комплекса слоистых силикатов и тонкодисперсных минералов, в частности, в нижних зонах профиля коры выветривания.

Начальная стадия выветривания пород в профиле коры Акташской, Бондюжской и др. площадей характеризуется преобладанием процессов дезинтеграции и дробления, что выражается в формировании отдельных каверн и микропор, которые в дальнейшем преобразуются в системы микротрещин и сообщающихся каналов, по которым активно циркулируют растворы. Микротрещиноватость может затрагивать как отдельные зерна минералов, так и отдельные участки породы. По типу микротрещиноватости пород так же можно выделить открытые и залеченные трещины, выполненные либо глинистыми, либо карбонатными минералами.

В процессе выветривания полевые шпаты, плагиоклазы полностью или частично замещаются каолинитом, по пироксенам может развиваться хлорит. Чешуйки и пакеты биотита часто испытывают процессы смятия, расщепления, деформации (Рис. 1), по плоскостям спайности мо-

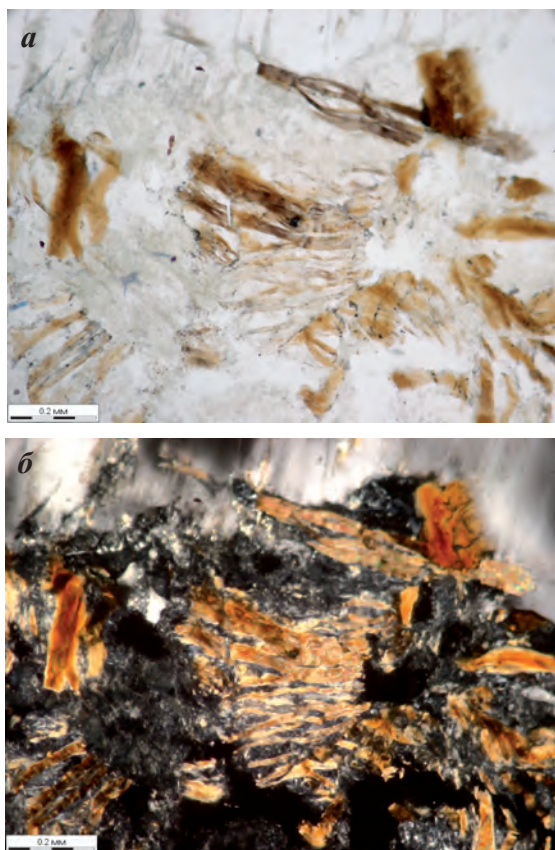


Рис. 1. Расщепление и деформация пакетов биотита по плоскостям спайности. Гранат-силлиманит-биотитовый гнейс. Акташская пл., скв. 22, инт. 1734,2-1738,34 м. а) николи П; б) николи +.

жет происходить замещение его вермикулитом, либо хлоритом с образованием порового пространства (Ситдикова, Сидорова, 2011).

Для верхних горизонтов профиля коры выветривания изученных площадей Татарского свода наиболее характерны процессы интенсивной каолинизации, при которой практически все зерна полевых шпатов замещены каолинитом. В каолининовой тонкочешуйчатой массе могут присутствовать обломки зерен кварца, как наиболее устойчивого минерала к процессам выветривания. Развитие процессов гидратации и выщелачивания, сказывается на увеличении глинистости пород и преобладании в минеральном составе глинистых минералов, при этом содержание первичных минералов резко снижается за счет их замещения глинистыми минералами.

Основным методом изучения глинистого вещества кор выветривания был рентгенофазовый анализ на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М, полученные результаты исследований позволили выделить ведущие ассоциации глинистых минералов. Данные изучения свидетельствуют о развитии трех основных типов глинистых минералов в породах коровой формации Татарского свода: хлорита, иллита, каолинита, процентное соотношение которых меняется по разрезам изученных скважин и в пределах изученных площадей. По данным анализа соотношений ведущих минеральных фаз выделяются следующие парагенетические ассоциации глинистых минералов коры выветривания фундамента (Табл. 1): каолининовая; иллит-каолининовая; хлорит-иллит-каолининовая, а также ассоциация на базе смешанослойных минералов (смектита, вермикулита) – хлорит-каолинит-смешанослойная (иллит-смектит) (Рис. 2) (Сидорова, Ситдикова, 2011).

	Площадь	Скважина/интервал, м	Мощность КВ, м (Ситдигов, 1968)	Породы	Ведущие ассоциации глинистых минералов
Южно-Татарский свод	Акташская	Скв. 21 1705-1722 м	7,3	Гранат-биотитовый гнейс	Иллит (или смешанослойная) -каолининовая ассоциация
		Скв. 22 1734-1739 м	3,5	Гранат-силлиманит-биотитовый гнейс	
	Лениногорская	Скв. 3543 1768-1774 м	-	Кварц-биотитовый плагиогнейс	Хлорит-каолинит-смешанослойная ассоциация
		Скв. 3551 1983-1986 м	-	Гранат-биотитовый гнейс	
Северо-Татарский свод	Бондюжская	Скв. 65 1716-1734 м	4,0	Гранат-биотитовый плагиогнейс	Каолинит-иллитовая (или смешанослойная) ассоциация
	Елабужская	Скв. 34 1718-1733 м	-	Биотитовый плагиогнейс	Хлорит-иллит (или смешанослойная) -каолининовая ассоциация
		Скв. 67 1567-1580 м	3,0	Биотит-кварц-плагиоклазовый гнейс	
Мелекесская впадина	Чистопольская	Скв. 8 1864-1869 м	-	Биотит-плагиоклазовый гнейс	Каолининовая ассоциация

Табл. 1. Ведущие ассоциации глинистых минералов коровой формации Татарского свода.

В корах выветривания фундамента каолинит является преобладающим компонентом глинистого вещества. Необходимо отметить, что в верхней части профиля коры выветривания, в частности, в скв.8 Чистопольской площади и скв.67 Елабужской площади, увеличивается процентное содержание каолинита по сравнению с хлоритом и иллитом. Иллит при усилении процессов гидратации может переходить в смешанослойную фазу с различным соотношением иллитовых и смектитовых пакетов с формированием таких ассоциаций глинистых минералов, как смешанослойно-каолининовой или каолинит-смешанослойной и др., что наблюдается, например, в скв.34 Елабужской площади.

Каолининовая ассоциация (Рис. 2а) является ведущей ассоциацией в пределах **Чистопольской площади**, где кора выветривания образовалась по биотит-плагиоклазовым гнейсам. Минеральный состав пород представлен в основном кварцем (40-45%), плагиоклазом (15-20%) и калиевым полевым шпатом (15-20%), подчиненное значение имеют биотит (5-10%), хлорит (до 10%) и рудные минералы (2-3%). Кварц характеризуется двумя генерациями: первая генерация представлена крупнокристаллическими ал-

лотриоморфными выделениями с волнистым погасанием с цепочками газовой-жидких включений до 1 мм и более; вторая генерация – это мелкозернистый вторичный кварц, чистый, без включений. Плаггиоклаз сильно измененный, сосюритизированный с большим количеством выделений кальцита, ориентированных в основном по плоскостям двойникования плаггиоклаза. Калиевый полевой шпат практически полностью разложен и замещен тонкодисперсными агрегатами глинистых минералов. Рудная минерализация представлена тонкодисперсной вкрапленностью магнетит-гематитового состава, часто сопровождающей продукты изменения породы. Хлорит развивается по пироксенам и амфиболам, частично или полностью замещая их. По данным рентгенофазового исследования глинистой составляющей установлено развитие ведущей каолиновой ассоциации, при этом основным глинистым минералом является каолинит (до 95%), подчиненное значение имеют иллит и хлорит, процентное содержание которых уменьшается выше по профилю скважин. Каолинит, как конечный продукт трансформации глинистых минералов, имеет хорошую степень окристаллизованности. Степень кристалличности каолинита, определенная по «индексу Хинкли» (Рентгенография основных типов..., 1983), изменяется от 1,5 до 1,2, что свидетельствует о снижении степени кристалличности с глубиной по профилю коры выветривания.

Кора выветривания **Акташской площади** сформировалась по гранат-биотитовым, гранат-силлиманит-биотитовым гнейсам (Рис. 3а) и характеризуется преобладанием **иллит (или смешанослойной)-каолиновой ассоциации** (Рис. 2б). Ведущим глинистым минералом в данном слу-

чае так же является каолинит, в небольшом количестве присутствуют иллит и хлорит. За счет усиления процессов гидратации в верхних горизонтах коры, происходила трансформация ранее сформированного иллита с увеличением разбухающих фаз и переходом его в смешанослойную фазу типа иллит-смектит с соотношением слоев 80:20 или 70:30 соответственно.

Хлорит-иллит (или смешанослойная)-каолиновая ассоциация (Рис. 2в) развита по породам коры выветривания **Елабужской площади**, так в скв. 67 представленными биотит-кварц-плаггиоклазовыми гнейсами (Рис. 3б). Плаггиоклаз практически полностью сосюритизирован и замещен тонкочешуйчатым агрегатом серицита. Кварц деформированный, с трещинками и большим количеством газовой-жидких включений. Биотит сильно хлоритизирован и практически полностью замещен псевдоморфозами хлорита. В основной массе породы встречаются кристаллики сидерита с «рубашками» гидроокислов железа, а так же многочисленные (до 30%) выделения кальцита, чаще бесформенные, с характерным рельефом и двупреломлением. Выше по профилю с увеличением изменения пород происходит постепенный переход к более выветрелым разностям, поэтому характерным является повышение в процентном соотношении (до 50%, местами и больше) тонкодисперсной глинистой массы, состоящей главным образом из каолинита и в небольшом количестве включающая хлорит и иллит.

Хлорит-каолинит-смешанослойная ассоциация (Рис. 2г) характерна для коры выветривания **Лениногорской площади**, с преобладанием смешанослойной фазы по отношению с каолинитом и хлоритом. В частности, в

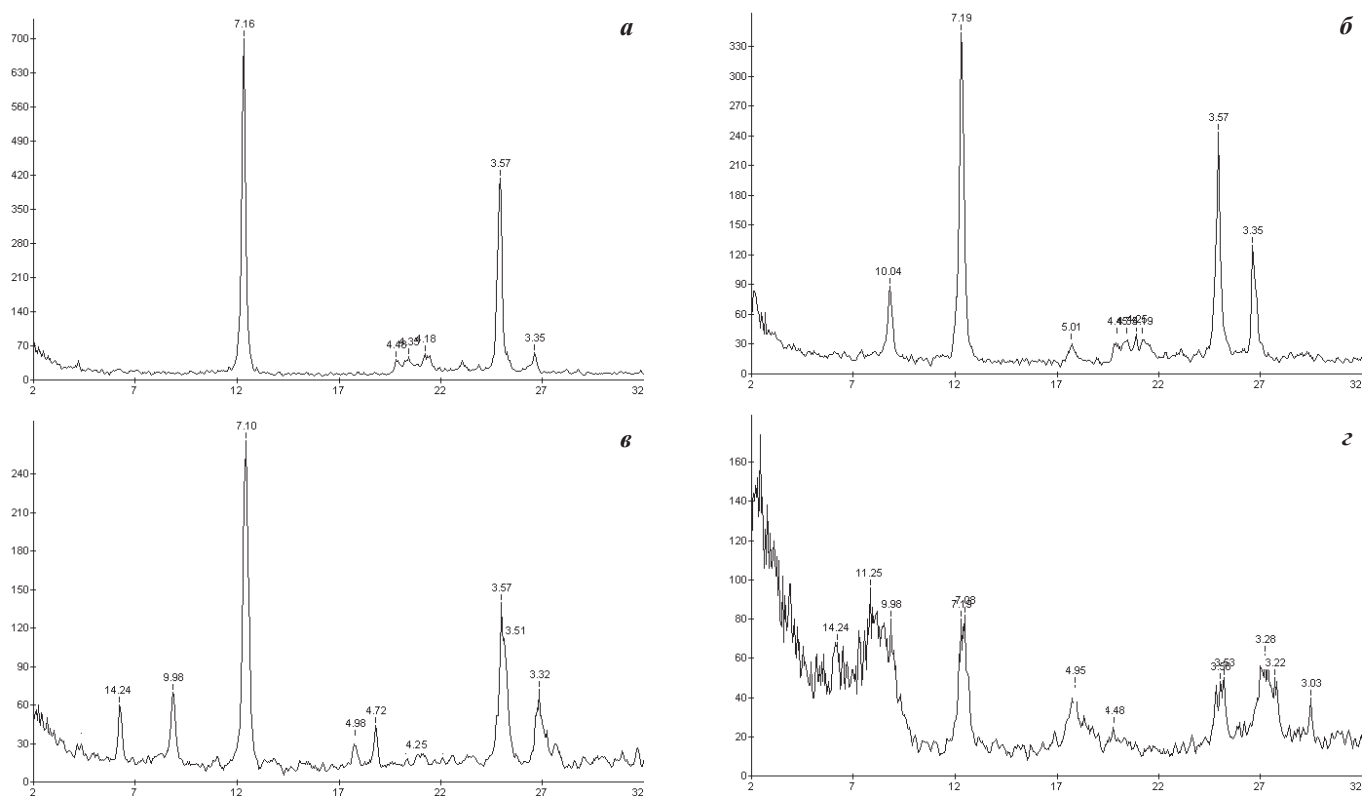


Рис. 2. Фрагменты дифрактограмм ориентированных препаратов, в/с. а) Каолиновая ассоциация. Чистопольская пл., скв. 8, инт. 1864-1865 м; б) Иллит-каолиновая ассоциация. Акташская пл., скв. 21, инт. 1705,5-1707,7 м; в) Хлорит-иллит-каолиновая ассоциация. Елабужская пл., скв. 67, инт. 1572,6 м; г) Хлорит-каолинит-смешанослойная ассоциация. Лениногорская пл., скв. 3543, инт. 1768,5-1774 м.

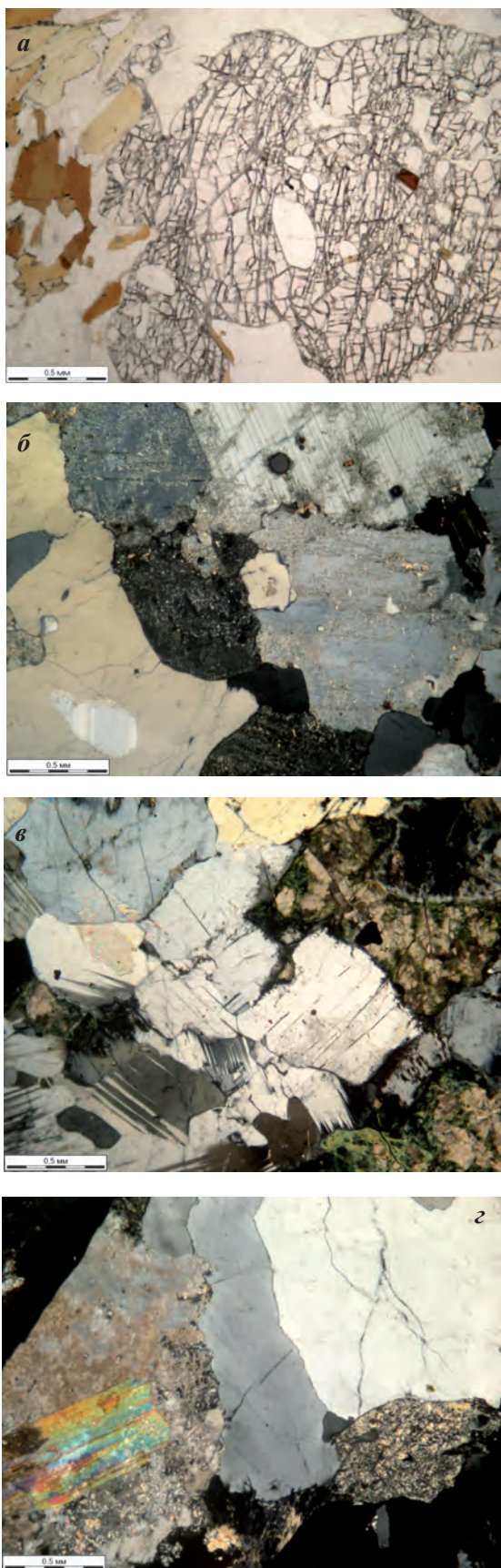


Рис. 3. а) Акташская пл., скв. 21, инт. 1720,4-1722,5 м. Трещины дробления в гранате, гранат-биотитовый гнейс, николи II; б) Елабужская пл., скв. 67, инт. 1577,5-1580 м. Биотит-кварц-плагиоклазовый гнейс, николи +; в) Лениногорская пл., скв. 3543, инт. 1768,5-1774 м. Кварц-биотитовый плагиогнейс, николи +; г) Бондюжская пл., скв. 65, инт. 1716-1734 м. Гранат-биотитовый плагиогнейс, николи +.

пределах скв.3543 кора выветривания развивалась по кварц-биотитовым плагиогнейсам (Рис. 3в). В минеральном составе преобладает плагиоклаз (андезин) – до 55%, местами измененный, трещиноватый, с развитием процессов сосюритизации и хлоритизации по трещинкам. Калиевый полевой шпат содержится в небольшом количестве и сильно изменен. Амфиболы и пироксены замещаются тонкодисперсными, местами тонколучистыми агрегатами хлорита, образуя при этом петельчатые формы с выделениями кальцита. Кварц выделяется двух генераций, что является характерным: первичный, трещиноватый с микровключениями и чистый, мелкокристаллический. Содержание биотита небольшое (10%), местами он практически неизменный. Вверх по профилю коры выветривания степень выветрелости пород увеличивается, что выражается в преобладании в минеральном составе тонкодисперсной глинистой массы, при этом появляется специфический набор глинистых минералов: хлорит, каолинит и смешанослойная фаза иллит-сметтит, что свидетельствует об интенсивном процессе гидратации. Изучение глинистых минералов свидетельствует о трансформных преобразованиях снизу вверх по профилю коры выветривания иллита в смешанослойную фазу типа иллит-сметтит с соотношением слоев 80:20, которая выше сменяется фазой с соотношением слоев 70:30 соответственно.

Таким образом, на основании изучения глинистого вещества пород кор выветривания Татарского свода установлено, что независимо от субстрата, минерального состава материнских пород в большинстве случаев доминирующим глинистым минералом является каолинит, как конечный продукт трансформных преобразований глинистых минералов профиля коры выветривания.

Однако в ряде изученных скважин встречаются случаи обратной трансформации глинистых минералов в профиле коры выветривания. Ярким примером является скв.65 **Бондюжской площади**, сформированная по гранат-биотитовым плагиогнейсам (Рис. 3г). Распределение глинистых минералов носит здесь инверсионный характер, то есть в верхних зонах профиля коры преобладает смешанослойная фаза типа иллит-сметтит, а каолинит имеет подчиненное значение. Такое соотношение глинистых минералов позволяет выделить новую ассоциацию, характерную для данной площади – **каолинит-смешанослойную**. Образование инверсионного профиля коры выветривания характерно для скважин, расположенных в зонах разломов, что связано с действием более поздних гидротермальных наложенных процессов на уже сформированные профили коры выветривания (Ситдикова, 1999).

Интересным является факт установления зависимости состава глинистых минералов пород коры выветривания и данных пористости, проницаемости. Для определения пористости был применен метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР), так как стандартные методы определения пористости и проницаемости к данным породам трудно применимы в виду их хрупкости и высокого содержания глинистых минералов. Результаты исследования свидетельствуют, что породы коровой формации **Бондюжской площади** характеризуются пористостью, которая варьирует от 5% до 15%, а максимальные значения достигают 27%, при этом эффективная пористость колеблется в интервале 5-10%. Важно отметить, что

повышенные значения пористости наиболее характерны для зоны дезинтеграции профиля коры выветривания с развитием микротрещиноватости по минералам и отдельным участкам пород. В то же время установлена связь состава глинистого вещества и эффективной пористости, в частности, повышенные значения пористости связаны с участками и интервалами пород с преобладанием каолининовой составляющей, которая формирует специфическую микроструктуру глинистого вещества. Каолинит при этом хорошо окристаллизован, образует четкие пакеты и агрегаты. Наименьшие же значения пористости характерны для участков пород и зон профиля коры с развитием иллита или смешанослойной фазы. Микроструктура глинистого вещества представлена войлочными выделениями иллита и хлопьевидными агрегатами смешанослойной фазы.

Таким образом, можно говорить о том, что преобладание каолинита в составе глинистой компоненты коры выветривания повышает ее фильтрационно-емкостные характеристики, тогда как иллит или смешанослойная фаза наоборот ухудшают их.

Выводы

1. Проведенные исследования свидетельствуют о разнообразии глинистых минералов и их ассоциаций, указывают на смену ассоциаций по профилям коры выветривания изученных площадей, что позволяет выделять различные зоны и подтверждает зональное строение древних кор выветривания кристаллического фундамента Татарского свода.

2. Установлено влияние наложенных гидротермальных процессов на корообразование, выраженное в формировании специфического комплекса глинистых минералов и образовании инверсионного профиля коры выветривания. Предполагается связь выявленной инверсии с флюидно-гидротермальными потоками, являющимися производными глубинных разломных структур фундамента.

3. Ранее установлено (Ситдикова, Сидорова, 2011), что две зоны в профиле коры выветривания Татарского свода – дезинтеграции и выщелачивания, обладают наибольшими фильтрационными характеристиками, при формировании которых решающее значение имеет развитие той или иной ассоциации глинистых минералов.

4. Полученные результаты позволяют говорить о том, что дезинтегрированный комплекс пород кристаллического фундамента Татарского свода можно рассматривать в качестве потенциальных нетрадиционных коллекторов углеводородов больших глубин (Ситдикова, Изотов, Сидорова, 2013). В пользу этого выступают факты обнаружения притоков нефти и газа из отложений кор выветривания фундамента на территории Волго-Уральской области и Западно-Сибирской платформы (Журавлев, 2009; Гатиятуллин, Баранов, 2013). Однако при рассмотрении перспектив нефтеносности необходимо учитывать зональность, вещественный состав и особенности локализации данной формации.

Литература

Гатиятуллин Н.С., Баранов В.В. Оценка поисковых критериев коры выветривания Северо-Татарского свода. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 2013. №2. 4-7.

Докембрийские коры выветривания (формирование докембрийских пенепленов и кор выветривания; эпохи континентального литогенеза в докембрии). *Мат-лы Всесоюзного сов.: «Коры выветривания докембрия и связанные с ними полезные ископаемые»*. Москва. ВИЭМС. 1975. 131.

Журавлев Е.Г. Залежи нефти и газа в корях выветривания фундамента осадочных бассейнов. *Литология и полезные ископаемые*. 2009. №3. 329-334.

Лапинская Т.А., Журавлев Е.Г. Погребенная кора выветривания фундамента Волго-Уральской газонефтеносной провинции и ее геологическое значение. М.: Недра 1967. 174.

Рентгенография основных типов породообразующих минералов (слоистые и каркасные силикаты). Под ред. Франк-Каменецкого В.А. Ленинград. Недра. 1983. 359.

Сидорова Е.Ю., Ситдикова Л.М. Эволюция глинистых минеральных комплексов погребенных кор выветривания Татарского свода. *Сб. «Глины, глинистые минералы и слоистые материалы»*. ИГЕМ РАН. Москва. 2011. 115-116.

Сидорова Е.Ю., Ситдикова Л.М., Изотов В.Г. Зоны дезинтеграции докембрийских кор выветривания как специфический объект наноминеральных ассоциаций. *Сб.: «Наноявления при разработке месторождений углеводородного сырья: от наноминералогии и нанохимии к нанотехнологиям»*. М: ИГиРГИ. 2012. 280-283.

Ситдиков Б.С. Петрография и строение кристаллического фундамента Татарской АССР. Казань. Изд-во КГУ. 1968. 436.

Ситдикова Л.М. Минералого-геохимическая инверсия профиля погребенных кор выветривания зоны Камских разломов Республики Татарстан. *Сб. тр. «Геология и современность»*. Казань: Изд-во КГУ. 1999. 123-124.

Ситдикова Л.М. Зоны деструкций кристаллического фундамента Татарского свода. Казань: Изд-во КГУ. 2005. 148.

Ситдикова Л.М., Сидорова Е.Ю. Минералого-петрографические особенности коровой формации фундамента Южно-Татарского свода. *Георесурсы*. 2011. №1(37). 13-15.

Ситдикова Л.М., Изотов В.Г., Сидорова Е.Ю. Нетрадиционные объекты УВ-сырья на поздней стадии освоения Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. *Сб. мат.: «Проблемы повышения эффективности разработки нефтяных месторождений на поздней стадии»*. Казань: Изд-во «ФЭН» АН РТ. 2013. 47-49.

E.U. Sidorova, L.M. Sitdikova. The clay mineral associations of ancient weathering crusts - potential reservoir zones of the crystalline basement of the Tatar Arch

In this article the mineralogical, petrographic characteristics of crust formation of the Tatar Arch are given, the details of the formation of clay minerals on a number of areas are considered. Leading associations of clay minerals are highlighted and their development both in areas of the profile of the weathering crust and within the studied area of the Tatar Arch is analyzed, connection of the clay mineral composition and porosity of the material is established.

Keywords: crystalline basement, the weathering crust, rock, mineral, kaolinite, chlorite, illite, mixed-phase, transformations.

Елена Юрьевна Сидорова

Аспирант Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета.

Ляля Мирсалиховна Ситдикова

К.геол.-мин.н., доцент каф. региональной геологии и полезных ископаемых Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета.

420008, Казань, ул. Кремлевская, д.18.

Тел.: (843)238-84-71.