

# РОЛЬ МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ СЛЮД НА ХАРАКТЕР СТРУКТУРЫ ФАЗ ИЛЛИТ-СМЕКТИТ ПРИ ОБВОДНЕНИИ КОЛЛЕКТОРОВ

Рассмотрены различия в механизмах формирования структуры упорядоченных смешанослойных фаз иллит-сметтит с  $R=2$  и  $R=1$  для повышения надёжности выявления начальных стадий технологического обводнения коллекторов. Фазы с  $R=3$ , возникающие до начала обводнения, фиксируемого по данным ГИС, можно принять по характеристикам дифракции за фазы с  $R=1$  или  $R=2$ , которые отвечают определённому уровню катагенеза у любых пород. Критерии отличия основаны на разных процессах, реализующих такие структуры, как разрыв частиц по границам нано блоков в первом случае, и проявлению дислокационного механизма роста кристаллов слюды во втором. Для обоих случаев толщина набухающих пакетов постоянна, соответствует или одной или двум сеткам  $H_2O$ .

*Ключевые слова:* добыча нефти, слюды, фазы иллит-сметтит, кристаллизация.

Ранее установлено, что уже на самой начальной стадии обводнения, когда оно ещё не фиксируется данными ГИС, в глинистой компоненте продуктивного коллектора проявляются упорядочено смешанослойные фазы иллит-сметтит с фактором ближнего порядка  $R=3$ . Их появление объясняет расщепление частиц вторичных слюд по границам отдельных нано блоков, что приводит к контакту новых, способных к набуханию (сметтитовых) межслоевых промежутков с не менее чем тремя слоями слюд (Рахматулина, Кринари, 2012). Наиболее простым критерием диагностики этого явления служит увеличение амплитуды рефлекса вблизи  $10 \text{ \AA}$  на спектре от насыщенного этиленгликолем препарата по отношению к спектру воздушно-сухого объекта. Но аналогичный эффект могут, в принципе, вызывать и фазы с  $R=1$  (ректориты) или  $R=2$ , образование которых задают РТ параметры позднего катагенеза. В отложениях продуктивного девона Татарстана их появление мало вероятно, в отличие от нижних нефтеносных горизонтов Западной Сибири. На рисунке 1 приведены положения базальных рефлексов фаз  $R=1$ ,  $R=2$  и  $R=3$  для структур, в которых содержания компонент слюды ( $pM$ ) и сметтита ( $pS$ ) равны. При росте  $pM$  эти рефлексы должны, по правилу Меринга-Дрица, смещаться по направлению к ближайшему базальному отражению слюды (Дриц, Сахаров, 1976). Из рисунка 1, где даны и оценочные значения интенсивности сверхпериодных отражений, видно, что усиление амплитуды  $10 \text{ \AA}$  рефлекса таким смещением, после насыщения препарата этиленгликолем, бу-

дет наиболее ощутимым для структур с  $R=2$ ,  $R=3$ .

Появление сверхпериодных отражений от упорядочено смешанослойных фаз с  $R=1$  или  $R=2$  спектры базальной дифракции фиксируют только в случае близких к 50% концентраций слюдяной компоненты ( $0.4 < pM < 0.7$ ). Но природные объекты могут содержать такие фазы и с  $pM > 0.7$ . Тогда критерий выявления зон обводнения по усилению  $10 \text{ \AA}$  отражения теряет однозначность, и возникает потребность отличать фазы с  $R=3$  от фаз  $R=1$  и  $R=2$ , прежде всего.

Рассмотрим сначала особенности конфигурации разностных спектров для объектов зон позднего катагенеза без явных признаков наличия упорядоченной смешанослойности. На рисунке 2 приведён разностный спектр образца Н359, пласт БС8, глубина 2892м. Керн взят при бурении разведочной скважины 200Р, что гарантировало отсутствие технологических воздействий на облик минералов. При насыщении этиленгликолем амплитуда  $10 \text{ \AA}$  рефлекса на спектрах его 00L дифракции снижается, как у коллекторов девона Ромашкино, не вовлечённых в эксплуатацию. Положения экстремумов на экспериментальном спектре хорошо совпадают с теоретическим спектром структуры с  $pM=0,92$ , двумя сетками  $H_2O$  межслоевых промежутков и фактором  $R=1$ , обозначаемой как M92W2R1. То же положение максимума имеет структура с  $R=0$  (M82W1R0), но минимум у неё сильно смещён. Возможно, объект содержит и иные фазы с  $R=0$ , W1 и разными значениями  $pM$ , что приводит к снижению высоты "нулевой линии" Lz (Рис. 2).

Окончание статьи С.Е. Валеевой, Ю.М. Арефьева, А.Г. Барановой «Особенности моделирования залежей нефти в Каширском горизонте для учета запасов...»

*Валеева Светлана Евгеньевна*

Младший научный сотрудник. Область научных интересов: геологическое моделирование месторождений углеводородов, технологии 2D и 3D подсчета запасов нефти

*Арефьев Юрий Михайлович*

Научный сотрудник. Область научных интересов: изучение и моделирование строения залежей нефти в различных продуктивных толщах осадочного чехла

*Баранова Анна Геннадьевна*

Научный сотрудник. Область научных интересов: перспективы нефтеносности нетрадиционных и малоисследованных пластов коллекторов каменноугольного разреза по данным ГИС, создание информационно-архивной системы

ГБУ Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан  
г. Казань, ул. Даурская, 28. Тел. (843) 298 31 65.

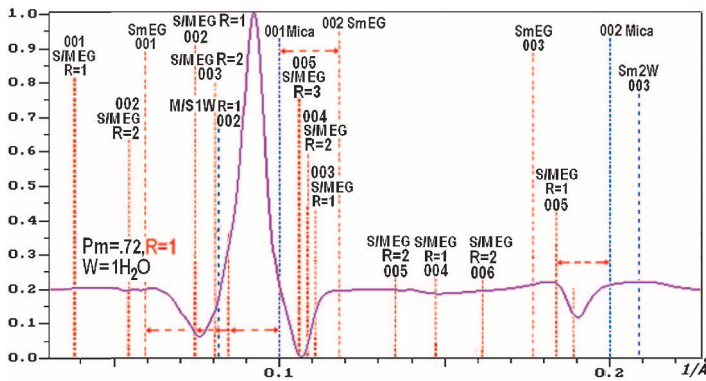


Рис. 1. Положения более важных отражений для упорядочено смешанослойных фаз иллит-сметит с близким содержанием компонент и факторами ближнего порядка  $R=1$ ,  $R=2$  и  $R=3$ . Выделены примерные соотношения их амплитуд и порядки базальных отражений. Миса – слюда, Sm – сметит, 1W, 2W – число сеток  $H_2O$  в пакетах исходного сметита, EG – этиленгликоль, S/M, M/S – смешанослойные фазы иллит-сметит,  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$  – факторы ближнего порядка. Для примера приведён теоретический разностный спектр структуры с  $R1$ ,  $Pm = 72\%$  и  $1W$ .

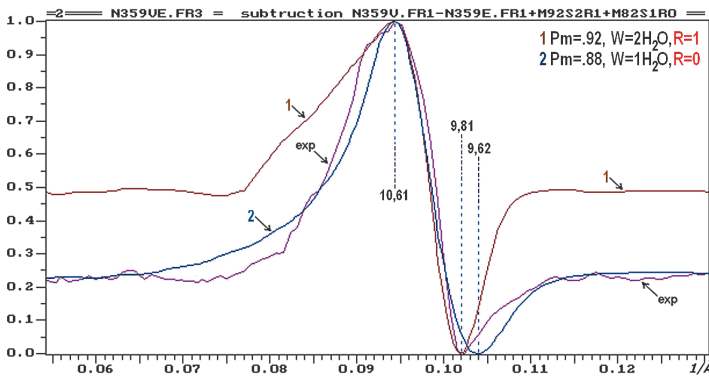


Рис. 2. Разностный спектр глинистой фракции песчаника из зоны позднего катагенеза, содержащей фазу иллит-сметит с  $R=1$ . Параметры теоретических спектров: 1 –  $pM=0,92$ , две сетки  $H_2O$ ,  $R=1$ ; 2 –  $pM=0,82$ , одна сетка  $H_2O$ ,  $R=0$ .

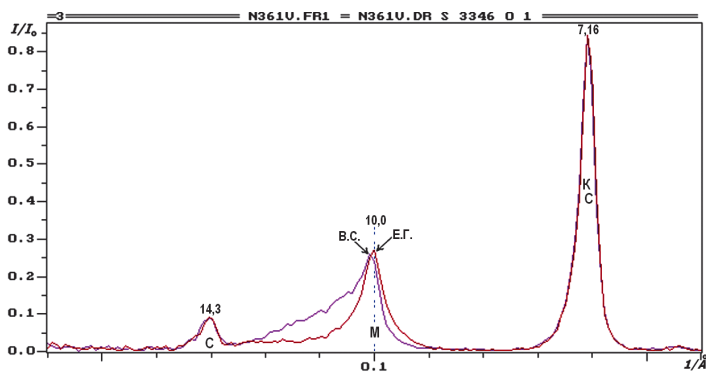


Рис. 3. Наложение нормированных по амплитуде рефлекса  $7,16 \text{ \AA}$  спектров от воздушно-сухого препарата – B.C., и насыщенного этиленгликолем – E.G.

На рисунке 3 приведён фрагмент нормированных, наложенных друг на друга спектров 00L дифракции образца N361 того же пласта скважины Нивгальская 3346, глубина 2882м. Видно, что при насыщении этиленгликолем происходит усиление и смещение  $10 \text{ \AA}$  максимума. Технологические воздействия на этот эксплуатируемый высоко дебитный коллектор нам не известны, но заводнения не при-

менялось. Конфигурация экспериментального разностного спектра этого образца хорошо аппроксимирует расчётная кривая от структуры M91W2R2. У структур с R3 минимум можно совместить с экспериментальным спектром для M88W2, но положения максимумов при этом существенно различаются (Рис.4). Возможно, что образец содержит и небольшие примеси других фаз с R2, но на экспериментальном спектре их минимумы не проявлены, M78W2R2 например.

Если объект содержит упорядочено смешанослойные фазы с близкими по количеству разбухающих и не разбухающих компонент, то разностный спектр должен содержать дополнительные экстремумы, создаваемые меняющимися своё положение сверхпериодными отражениями. На рисунке 5 приведены спектры 00L отражений тонкой фракции алевролита, где доминирует фаза Na ректорита, Уренгой, пласт БУ9, глубина 2880м. Интенсивный рефлекс 002 сухого образца с  $d = 11,2 \text{ \AA}$  преобладает как главный максимум и на разностном спектре, где так же проявлен дополнительный минимум с  $d \approx 13,4 \text{ \AA}$ , отвечающий рефлексу 002 ректорита с этиленгликолем (Рис. 6). Ещё один дополнительный минимум с  $d \approx 15,5 \text{ \AA}$  наверно обязан небольшой примеси тосудита, его отражения 001 маскируются ректоритом, но фиксируется рефлекс 006 с  $d \approx 5,21 \text{ \AA}$  для образца, насыщенного этиленгликолем. Появление тосудита вполне типично для слабо проницаемых пород в кровле залежей нефти на любых глубинах, и скорее всего связано с превращением формируемого скопления в топливный элемент (Швыдкин и др., 2008). На рисунке 7 приведены типичные спектры 00L дифракции тосудита для воздушно сухого и насыщенного этиленгликолем состояния препарата. Там же проявлен не зависящий от обработки препарата рефлекс с  $d \approx 5,20 \text{ \AA}$ , создаваемый близкой к 1:1 смешанослойной фазой слюда-судоит; она генетически и пространственно часто связана с тосудитом, указывая на появления в породе свободного  $AlOH_2-1$ .

Кроме минерала, структурно близкого ректориту, и дающего на рисунке 6 два минимума и один максимум, обычно на разностном спектре появляются и ряд дополнительных экстремумов, которые можно интерпретировать как наличие фаз с  $pM > 0,7$  и  $R=1$ . Близкому ректориту максимуму  $11,25 \text{ \AA}$  отвечает вполне выраженный на экспериментальном спектре минимум  $9,63 \text{ \AA}$  для структуры с  $pM=0,83$  и двумя сетками  $H_2O$  при  $R=1$ . Кроме того, фиксируются два слабых, но чётких максимума с плохо проявленными на экспериментальном спектре минимумами, которые очевидно создают структуры M78W1R1 и M90W1R1.

Определённые по расчётным моделям параметры  $d_{min}$ ,  $d_{max}$  для объектов с  $R=1$  и  $R=2$  можно представить в виде графиков их зависимости от  $Pm$  при  $1H_2O$  или  $2H_2O$ . Тогда экспериментальное значение  $d_{min}$  позволит оценить долю слюд  $Pm$  в данной смешанослойной фазе. При этом экспериментальные значения  $d_{max}$  не должны выходить за границы зависимости  $d_{max} = f(pM)$  для выбранного числа сеток  $H_2O$ . Ранее показано (Рахматулина, Кринари, 2012), что точки пересечения экспериментальных значений абсциссы  $Pm$  с ординатой  $d_{max}$  у структур с  $R=0$  всегда локализованы между кривыми  $d_{max} =$



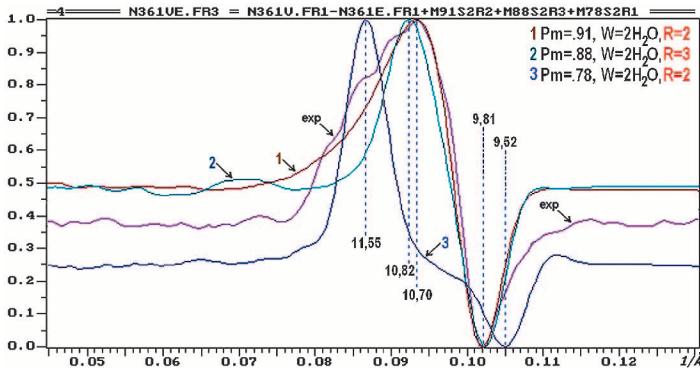


Рис. 4. Разностный спектр глинистой фракции песчаника из зоны позднего катагенеза, содержащей фазы иллит-сметит с  $R=2$ . Параметры теоретических спектров: 1 –  $pM=0,91$ , две сетки  $H_2O$ ,  $R=2$ ; 2 –  $pM=0,88$ , две сетки  $H_2O$ ,  $R=3$ ; 3 –  $pM=0,78$ , две сетки  $H_2O$ ,  $R=2$ .

$f(pM)$  для структур с  $1H_2O$  и с  $2H_2O$ , что объясняется возможностью присутствия в лабильных пакетах таких смешанослойных фаз как одно-, так и двухвалентных катионов. При разрыве частиц вторичных слюд по границам нано блоков в ходе обводнения, возникающие лабильные пакеты могут содержать либо только одну, либо только две сетки  $H_2O$ . При этом точки с координатами  $pM - d_{max}$  попадают строго на одну из кривых  $d_{max} = f(pM)$  (Рахматулина, Кринари, 2012). Теперь установлено, что аналогичная зависимость наблюдается и для структур с  $R=1$  и  $R=2$ , что иллюстрирует рисунок 8 на примере указанных выше объектов.

Особенности реальной структуры смешанослойных фаз из зон позднего катагенеза, проявляемые в конфигурации их разностных спектров, объясняют различия механизмов формирования кристаллов вторичных слюд. Ранее была показана возможность реализации двух процессов перехода структур смектитов во вторичные слюды. Первый вызван физической необходимостью удаления из межслоевых промежутков сеток воды при резкой смене величины или знака  $Eh$  за счёт изменения типа биоценозов в толще слабо консолидированного осадка. Процесс начинается на стадии диагенеза и не требует повышенных температур (Кринари, Храменков, 2005). В итоге возникает неупорядоченное наложение трёхмерно упорядоченных слюдяных блоков, где плоские сетки  $13+L$  политипа  $2M1$  совпадают с сетками  $13-(L-2)$  политипа  $1M$  с цис- вакантными слоями ( $1Mcv$ ), а транс- вакантные слои  $1M$  политипа ( $1Mtv$ ), чередуясь со слоями политипа  $2M1$ , формируют 3D смешанослойную структуру. Толщина частиц слюды такого типа подчиняется нормальному закону распределения (Кринари, Храменков, 2008). По границам между блоками иногда сохраняется несколько лабильных (сметитовых) пакетов. Их количество будет уменьшаться в ходе погружении при росте величины  $pM$  в смешанослойных фазах  $R=0$  и разным числом сеток  $H_2O$  в лабильном межслоевом пространстве.

Второй механизм требует повышенных РТ параметров, т.е. глубин более 2,5 км, и реализуется способом роста винтовых дислокаций, что выражается в распределении толщин слюдяных частиц по логнормальному закону (Кринари, Храменков, 2008). При этом в процесс вовлекаются как отдельные последовательности из

слоёв слюд, так и 3D нано блоки, что снижает эффект 3D смешанослойности. В итоге на спектрах сканирования зоны 02L-11L трёхмерные отражения политипов  $1Mtv$  и  $2M1$  в 3D смешанослойной структуре должны становиться значительно более разрешенными (Кринари, Храменков, 2011), что подтверждается рисунком 9, на котором даны спектры сканирования зоны 02L-11L уже названного образца  $N361$  в сравнении с таким же спектром образца продуктивного песчаника  $D1$  не затронутого обводнением.

Причины и механизмы образования упорядоченно

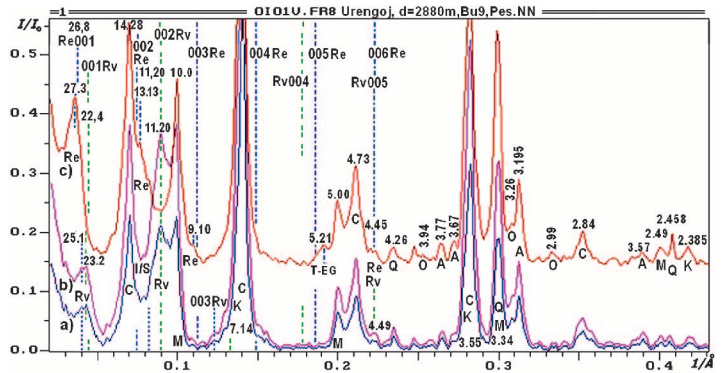


Рис. 5. Спектр базальных рефлексов тонкой фракции алевролита, содержащей  $Na$  ректорит с  $R=1$ ; а) и б) – спектры от воздушно-сухого препарата в разных маситабах, в) спектр от препарата, насыщенного этиленгликолем. Пунктирами даны теоретические положения рефлексов ректорита с  $pM=0,5$ . Rv – ректорит воздух, Re – ректорит этиленгликоль, Tег – рефлекс 005 тосудита с этиленгликолем; C – хлорит, Q – кварц, A – альбит, O – ортоклаз.

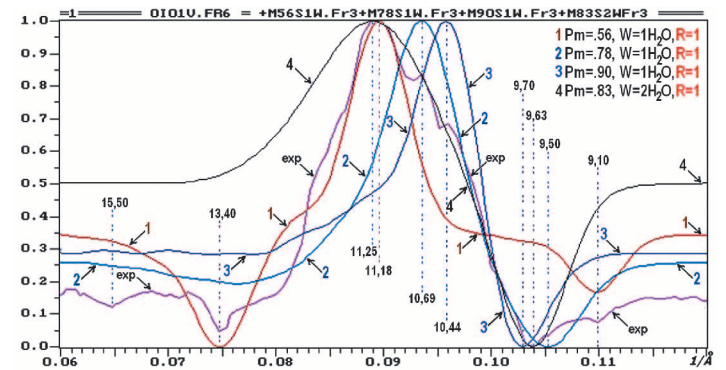


Рис. 6. Разностный спектр глинистой фракции песчаника из зоны позднего катагенеза, с ректоритом и другими фазами с  $R=1$ . Параметры теоретических спектров: 1 –  $pM=0,56$  (собственно ректорит), одна сетка  $H_2O$ , 2 –  $pM=0,78$ , одна сетка  $H_2O$ , 3 –  $pM=0,90$ , одна сетка  $H_2O$ , 4 –  $pM=0,83$ , две сетки  $H_2O$ .

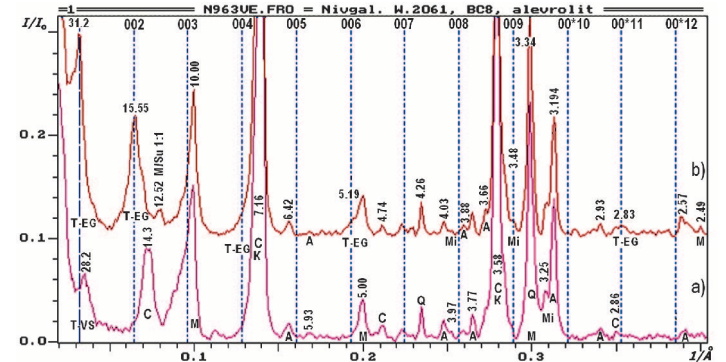


Рис. 7. Спектр базальных рефлексов тонкой фракции алевролита, содержащей тосудит, из кровли продуктивного пласта; а) – спектр от воздушно-сухого препарата, б) – спектр препарата с этиленгликолем; A – альбит, Mi – микроклин, Q – кварц.

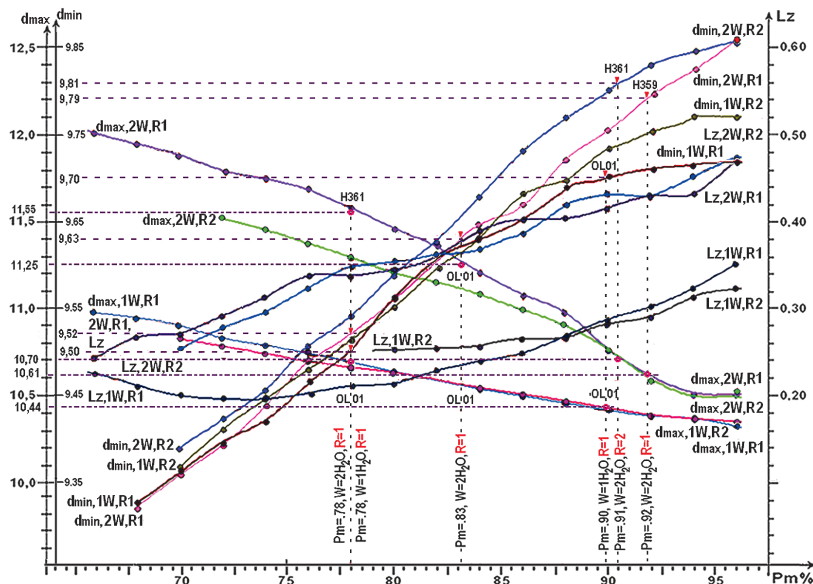


Рис.8. График зависимости параметров спектров моделей от  $Pm\%$  с нанесёнными экспериментальными значениями  $d_{min}$  и  $d_{max}$  рассмотренных образцов.

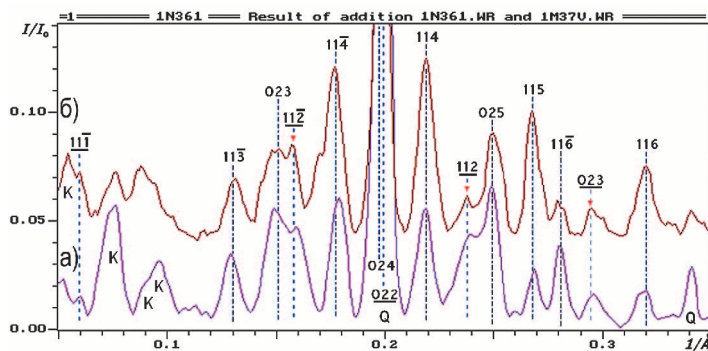


Рис. 9. Спектры 3D отражений типа 11L-02L от образцов: а) – песчаника девона Ромашкино, б) – песчаника из зоны позднего катагенеза; индексы рефлексов слюды полтипа 1M подчеркнуты. Пояснения в тексте.

смешанослойных фаз с R=1 и R=2 подробно рассмотрены ранее (Дриц, Сахаров, 1976) и с ростом винтовых дислокаций непосредственно не связаны. В системе иллит-сметит при подобных условиях среды увеличение доли слюдяной составляющей за счёт перекристаллизации и формирование упорядочено смешанослойных фаз могут идти совместно, но присутствие смектитовой поверхности на внешней границе слюдяного пакета должно блокировать рост винтовой дислокации. Таким образом, система будет стремиться к устойчивому состоянию, при котором её состав ограничен только присутствием слюдяных блоков, частично сохранивших 3D упорядоченность, и смешанослойной фазой с R=1 или R=2. Присутствие в лабильных межслоевых промежутках этих структур либо только одной, либо только двух сеток H<sub>2</sub>O, что подтверждает рис. 6, наверно можно объяснить снижением устойчивости всей структуры, если в двух соседних лабильных межслоевых промежутках будут локализованы обменные катионы с разной валентностью. Возникшее в одном из 2:1 слоёв механическое напряжение должно вызвать образование по нему винтовой дислокации. Образование структур с R=1 или R=2 задаёт диапазон параметров внешней среды, что не исключает их совместного присутствия.

Из всего изложенного следует, что характерной осо-

бенностью для любых упорядочено смешанослойных структур является строгое постоянство толщин лабильных межслоевых промежутков, независимо от соотношения слагающих их компонент. Но механизмы образования структур с R=1 и R=2, являясь по природе аградационными, принципиально отличны от деградации вторичных слюд, формирующих структуры с R=3. Мы пока не имеем примеров заводнения коллекторов, где продуктивная толща расположена в зоне позднего катагенеза. Очевидно, что в них увеличение амплитуды 10 Å рефлекса с этиленгликолем не сможет однозначно указать на заводнение. Однако, для большинства реальных объектов вполне осуществимы дифракционные различия фаз с R=2 от структур с R=3, появление которых становится универсальным критерием заводнения.

### Литература

Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурный анализ смешанослойных минералов. М.: Наука, 1976. 256с.  
 Криари Г.А., Храменков М.Г. Иллитизация смектита как биокосный процесс. Доклады РАН. Геохимия. 2005. Т. 403, №5. С.664-669.  
 Криари Г.А., Храменков М.Г. Трёхмерная структура вторичных слюд осадочных пород: особенности и механизмы формирования. Доклады РАН. 2008. Т. 423, №4, С. 524-529.  
 Криари Г.А., Храменков М.Г. Обратная трансформация вторичных слюд осадочных пород: механизмы и приложения. Доклады РАН. 2011. Т 436, № 5, С. 1-7.  
 Рахматулина Ю.Ш., Криари Г.А. Выявление начальных стадий обводнения продуктивных коллекторов по изменениям структуры вторичных слюд. Георесурсы. № 2 (44). 2012. с.35-39  
 Швыдкий Э.К, Якимов А.С., Вассерман В.А. Геофизические и геохимические технологии прогноза и оценки нефтеносности перспективных объектов. Казань: "Новое знание". 2008. 164 с

### Rakhmatullina Yu.Sh. The role of secondary mica forming mechanisms on the character of illite-smectite phases structure in the reservoirs watering.

The differences in formation mechanisms of ranked illite-smectite mixed-layered phases structure with r=2 and r=1 for increasing the reliability of the initial stages identity of reservoirs process watering are described in this paper. Phases with r=3 occurred before watering which recorded by logging data, can be taken by diffraction characteristics for phases with r=1 and r=2, which correspond to a certain level of katagenesis in any rock types. The difference criteria are based on the different processes that implement such a structure: in the first case – particles disruption on nano-blocks borders, in the second case – appearance of the dislocation mechanism of mica crystal growth. For both cases the thickness of swellable packages is constant and corresponds to one or two H<sub>2</sub>O grids.

Keywords: oil production, mica, phase illite-smectite, crystallization

Рахматулина Юлия Шамилевна  
 Младший научный сотрудник лаборатории геологического анализа

ГБУ Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, Тел.:+7(843) 299 35 03