

## ВУЛКАНОКЛАСТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ В ПАЛЕЗОЙСКОЙ ТОЛЩЕ ТАТАРСТАНА: МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И РОЛЬ В НЕФТЕДОБЫЧЕ

Г.А. Кринари<sup>1</sup>, Э.А. Королёв<sup>1</sup>, С.Н. Пикалёв<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный университет, кафедра минералогии  
420008, Казань, ул. Кремлевская, 18, КГУ, геофак  
E-mail: krinari@kzn.ru

<sup>2</sup>Татарско-Американская нефтяная компания АО «ТАТЕХ»  
423400, Татарстан, Альметьевск, ул. Маяковского, 116  
E-mail: pikalev.sergey@tatex.ru

Поступила в редакцию 4 ноября 2002 г.

Примесь палеовулканического материала установлена специальными методами рентгенографического анализа во всех палеозойских отложениях Татарстана. Он представлен продуктами преобразования вулканического пепла, который транспортировался с Урала эоловым путём и содержит «пепловый» смектит, смешанослойный иллит-смектит, слюды 1M<sub>d</sub> и 1M, цеолиты и неустойчивые в осадочном процессе аллотигенные силикаты. В органогенных известняках продуктивного карбона малая примесь вулканического материала стимулирует формирование зон вторичной цементации, которые становятся локальными покрывками для небольших нефтяных залежей. «Пепловая» природа вторичной слюды и иллит-смектитовых смешанослойных фаз в продуктивных песчаниках девона стимулирует их обратную трансформацию при техногенном обводнении пластов, которая приводит к сегрегации глинистых агрегатов. В результате фундаментальные частицы 1M слюды увлекаются флюидом, фиксируются на неоднородностях поровых каналов и создают за счёт высокого поверхностного заряда обратный электроосмотический поток, тормозящий фильтрацию и резко снижающий нефтедобычу. Выделение в осадочных толщах изохронных по природе «пепловых зон» облегчает задачу построения достоверных геологических моделей нефтяных месторождений.

Ключевые слова: *вулканический пепел, иллит, смешанослойные фазы, проницаемость, нефтяные залежи.*

## VOLCANIC ASH MATERIAL IN PALEOZOIC SEDIMENTS OF TATARSTAN: METHODS OF DIAGNOSTICS AND ROLE IN OIL-FIELD DEVELOPMENT

G.A. Krinari<sup>1</sup>, E.A. Korolev<sup>1</sup>, S.N. Pikalev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kazan State University, Geological department

<sup>2</sup>Tatar-American Oil Corporation «TATEX»

The admixture of a paleovolcanic material is set by special methods of x-ray analysis in all Paleozoic depositions of Tatarstan. It is represented by yields of transformation of volcanic ashes, transported from the Ural by eolian way and containing «ash» smectite, mixed-layer illite – smectite, micas 1M<sub>d</sub> and 1M, zeolites and labile in sedimental process allothigenous silicates. In organogenous limestones of productive Carbon the small admixture of a volcanic material boosts the formation of the zones of secondary cementation, which become local covers for small oil pools. An «ash» nature of secondary mica and the illite – smectite mixed-layer phases in productive sandstones of Devonian rock stratification stimulates their artificial reverse transformation at technological injection of fresh water in sandstone beds, which results in segregation of clay aggregates. As a result the fundamental particles of 1M mica take a great interest in a fluid, are fixed on heterogeneity of pore channels and construct for account of a high surface charge a revertive electroosmotic stream braking filtering and sharply lowering oil producing. The excretion in sedimental stratas of isochronous by nature «ash beds» eases the problem of constructing reliable geologic models of oil-fields.

Key words: *volcanic ash, illite, mixed-layer fases, permeability, oil-fields.*

## Введение

Возможность переноса вулканокластического материала на большие расстояния аэральным путём сейчас уже является общепризнанной, особенно в регионах, примыкающих к орогенным поясам. Даже в центральных частях платформ иногда не только обнаруживаются пласты вулканического пепла, но и удаётся установить их источник [Лаврушин и др., 1998]. Однако в подавляющем большинстве случаев, в осадках древнее четвертичных, продукты вулканических извержений, представленные мало устойчивым в обычном осадочном процессе вулканическим стеклом и фемическими силикатами, быстро преобразуются и становятся, при низком содержании в породах, трудно различимыми традиционными литологическими методами. В результате сформировалось понятие “камуфлированная пирокластика” и возникла проблема её диагностики в осадочных породах [Коссовская, 1975]. Обычно по вулканическому стеклу основного и среднего состава развиваются аутигенные цеолиты и глинистые минералы, представляющие собой результат катагенетических преобразований “пеплового” смектита. Кроме того, присутствие “камуфлированной пирокластики” может фиксироваться появлением, особенно в тонких фракциях, не свойственных обычной седиментации фемических минералов, преимущественно амфиболов, реже – пироксенов и оливина.

Проблема изучения пирокластического материала в осадочных толщах платформ имеет три аспекта. Во-первых, необходима разработка специальных методических приёмов, позволяющих достаточно надёжно идентифицировать крайне низкие концентрации специфичных минеральных фаз в любых полимиктовых породах без предварительной сегрегации на плотностные или магнитные фракции. Во-вторых, требуется установить структурные и кристаллохимические особенности тех минералов, которые возникали по вулканическому стеклу и трансформировались при разных условиях эпигенеза. И в-третьих, следует оценить прикладное значение горизонтов с “камуфлированной пирокластикой”, особенно в нефтяной промышленности. В нефтепродуктивной палеозойской толще Татарстана, включающей отложения от эйфельского яруса среднего девона до московского яруса среднего карбона, наличие пеплового материала можно было ожидать априор-

но, так как процессы формирования Урала и тектонической перестройки фундамента платформы происходили в это время наиболее интенсивно. Но целенаправленные исследования в этом направлении не проводились, поскольку не предполагалась возможность получения результатов, имеющих прикладное значение.

## Методика и объекты исследований

Основную роль в установлении минералов-индикаторов “камуфлированной пирокластики” должны играть специальные методы рентгеновской дифрактометрии, способные идентифицировать кристаллические фазы при концентрациях много меньше 0,1 %, что на полтора порядка превышает возможности стандартного рентгеновского анализа. Но никаких физических ограничений на минимальное содержание подлежащих обнаружению фаз рентгеновская дифракция не накладывает. Электронная микроскопия, при всех её огромных возможностях, не способна гарантировать в данном случае однозначного результата из-за малого объёма анализируемого вещества, в котором искомые фазы могут просто отсутствовать. Задача решалась путём многократного накопления спектров, при котором нивелируются случайные кратковременные вариации интенсивности рентгеновского пучка [Кринари и др., 1997], и последующей компьютерной обработкой экспериментальных спектров, включающей подавление шумовой составляющей с помощью специальных математических фильтров. Используемая компьютерная система XRAYTOOL 7.0 [Galimova et al., 1998] позволяет так же визуализировать на одной картине несколько спектров в разных вертикальных масштабах после их нормирования к единице по амплитуде любого, обычно самого сильного рефлекса. Дифрактометрические препараты при анализе валового состава образцов готовились путём растирания исходной породы в агатовой ступке с этиленгликолем до получения однородной вязкой пасты, которая наносилась ровным плоским слоем на поверхность матового стекла. Такая процедура предохраняет минералы от механических нарушений структуры и гомогенизирует межслоевые промежутки смектитового типа в смешанослойных фазах. Глинистая составляющая пород исследовалась на ориентированных препаратах из фракции менее 2,5 мкм, которая выделялась после разложения карбонатов ра-

створом уксусной кислоты методом отмучивания. Во фракцию этой размерности попадало и большинство минералов “камуфлированной пирокластики”. Съёмка ориентированных препаратов проводилась при его воздушно-сухом состоянии, после насыщения этиленгликолем и, при необходимости, после прокаливании при различных температурах, что обеспечивало диагностику глинистых минералов с точностью до группы и установление структурного облика смешанослойных фаз. Регистрация спектров осуществлялась в шкале обратных межплоскостных расстояний с размерностью  $1/\text{Å}$ , величина шага всегда задавался равной  $0,0008\ 1/\text{Å}$ . Основным продуктом раскристаллизации вулканического стекла основного, в меньшей степени среднего, состава является высокожелезистый смектит, обладающий предельно неупорядоченной турбостратической структурой [Дриц, Коссовская, 1990]. С нарастанием уровня катагенеза он трансформируется в иллит через смешанослойные иллит-смектитовые и иллит-вермикулит-смектитовые фазы, а так же в слюду упорядоченного низкотемпературного политипа 1M, формирующую так называемые “фундаментальные частицы” [Дриц, Коссовская, 1991; McCarty, Reynolds 2001]. Таким образом, определение политипии минералов из группы слюд необходимо для установления их генетической природы, что требует регистрации небазальных отражений. С этой целью использовался метод сканирования обратного пространства текстур [Звягин, Кринари, 1989]. Основная идея метода базируется на способности глинистых частиц, имеющих пластинчатую форму, ориентироваться вдоль плоскости подложки, образуя аксиальную текстуру [Plannson et al., 1982]. Узлы обратной решетки в ней представляют собой в плоском сечении дуги, локализованные вдоль прямых, параллельных оси текстуры – кристаллографической оси  $C^*$  в данном случае. Совокупность узлов-дуг, различающихся только индексом  $L$ , принадлежит одной прямой и относится к определенной кристаллографической зоне. Расстояние в обратном пространстве от оси текстуры до этой прямой есть координата зоны  $V_{hk}$ , имеющая размерность  $1/\text{Å}$ . В силу псевдогексагональной симметрии слоистых силикатов значение  $V_{11}$  близко  $V_{02}$ , а  $V_{13}$  –  $V_{20}$  и т.д. Поэтому в обратном пространстве зоны группируются попарно. Наибольший интерес представляют зоны 11L – 02L, 13L – 20L и 33L – 06L. При регистрации спектра осуществляется скани-

рование с постоянным шагом обратного пространства объекта вдоль определенного направления «X», проходящего через область локализации узлов выбранных зон. Тогда их рефлексы максимально усиливаются, а все другие отражения в значительной степени гасятся, что обеспечивает необходимую информативность картин небазальной дифракции. Эксперимент проводился на автоматическом двуприводном дифрактометре с квазипараллельной геометрией рентгенооптического тракта путём съёмки ориентированных препаратов “на просвет”. Выбранные из практического опыта оптимальные значения  $V_{hk}$  составляли:  $0,2225\ 1/\text{Å}$ , что отвечает координате зоны 11L – 02L диоктаэдрических структур с преобладанием катионов  $Al^{3+}$  ( $Fe^{3+}$ ) в октаэдрических сетках и  $0,3720\ 1/\text{Å}$ , что отвечает координате зоны 13L – 20L триоктаэдрических структур с преобладанием катионов  $Mg^{2+}$  ( $Fe^{2+}$ ) в октаэдрических сетках. В последнем случае интенсивность отражений диоктаэдрических фаз, которых обычно значительно больше, несколько занижалась, но появлялась возможность зарегистрировать целиком полосу двумерной дифракции 13–20. Шаг сканирования во всех случаях принимался равным  $0,001\ 1/\text{Å}$ . Величина межплоскостного расстояния  $d$  в  $\text{Å}$ , соответствующая дифракционному максимуму с координатами «X» и «В», определяется при таком способе съёмки соотношением:  $d=1/(V^2+X^2)^{0,5}$ . Объектом исследований служили 52 образца керна скважин, вскрывших терригенную толщу продуктивного девона в пределах Абдрахмановской, Алькеевской, Сармановской, Сулеевской, Федотовской, Челнинской и Чишминской площадей, расположенных в пределах Ромашкинского месторождения нефти, а так же более 400 образцов из 14 скважин Онбийской, Дёмкинской и Летней площадей, пройденных по продуктивной толще карбона с максимально возможным отбором керна.

### Экспериментальные данные по пирокластическому материалу и их интерпретация

Минеральные индикаторы присутствия пирокластического материала были действительно обнаружены во многих терригенных, глинистых и карбонатных породах всей продуктивной толщи Татарстана. Стратиграфические уровни их появления в целом коррелируют с эпохами максимальной тектонической активности

Урала. В чистых карбонатах пирокластика иногда фиксируется и визуально в виде небольших слоёв и свилей глинистого вещества. На дифракционной картине базальных отражений глинистой фракции одного из подобных объектов (Дёмкинская площадь, скв. 1166, верейский горизонт) преобладают отражения слюд (иллита), смешанослойных фаз значительно меньше, при крайне малой примеси аллотигенного хлорита, – одного из главных глинистых минералов всей толщи карбона (рис. 1а и 1б). Кроме того, при пятнадцатикратном увеличении масштаба (рис. 1с) надёжно фиксируются основные отражения клиноптилолита, морденита, амфибола и пироксена. Генетическая природа слюистой компоненты однозначно устанавливается по небазальным отражениям того же образца. При сканировании зоны 11L – 02L (рис. 2) наблюдается интенсивная полоса двумерной дифракции 11–02, создаваемая диоктаэдрическими смешанослойными фазами и вторичной слюдой поли типа 1M<sub>d</sub>, наследующей отсутствие трёхмерного порядка структуры от “пеплового” монтмориллонита. Но кроме отражений явно аллотигенного мусковит-

та фиксируется и дифракция от двух фаз упорядоченного поли типа 1M, которая гасится любыми структурными нарушениями. Кристаллохимическая специфика этих фаз раскрывается по отражениям зоны 13L – 20L (рис. 3), инвариантным к регулярным дефектам структуры, – взаимным смещениям слоёв на  $\pm b/3$  или разворотам на  $\pm p/3$ . Полностью доминирует среди них железистый иллит, близкий селадониту, низкотемпературного поли типа 1M. Очевидно именно эти слюды образуют “фундаментальные частицы” – тонкие, порядка 10–80 слоёв, но протяженные в плоскости базиса пластины [Srodon, Elsass, 1994], которые могут формироваться и по “пепловому” монтмориллониту [McCarty, Reynolds, 2001]. Совершенно очевидно, что источником железа в органогенных известняках, почти лишенных обломочной компоненты, может быть только вулканическое стекло. Трансформация смектита в иллит через промежуточные смешанослойные фазы при нарастании интенсивности катагенеза является глобальным явлением [Дриц, Коссовская, 1991]. Но специфика именно “пеплового” смектита имеет су-

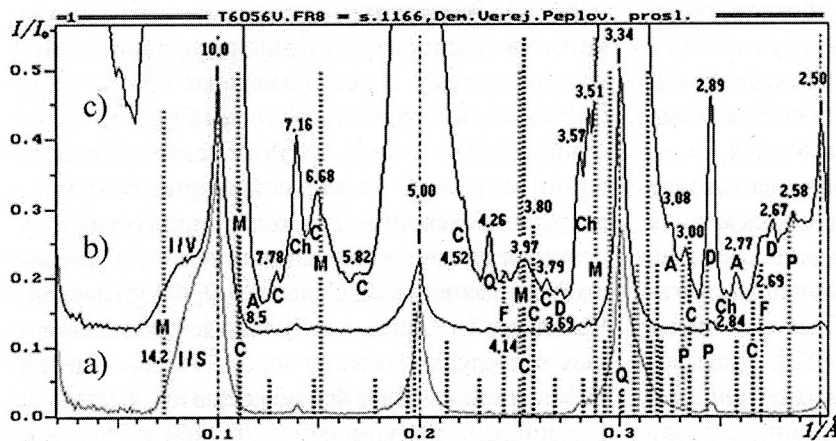


Рис. 1. Базальные рефлексы глинистой фракции пеплового прослоя.

Минералы: I – иллит; Ch – хлорит. M – морденит; A – амфибол; C – клиноптилолит; D – доломит; P – пироксен; F – филлипсит; Q – кварц; I/S – иллит-смектит, I/V – иллит-вермикулит. а) воздух; б) этиленгликоль; в) этиленгликоль в масштабе 15 : 1.

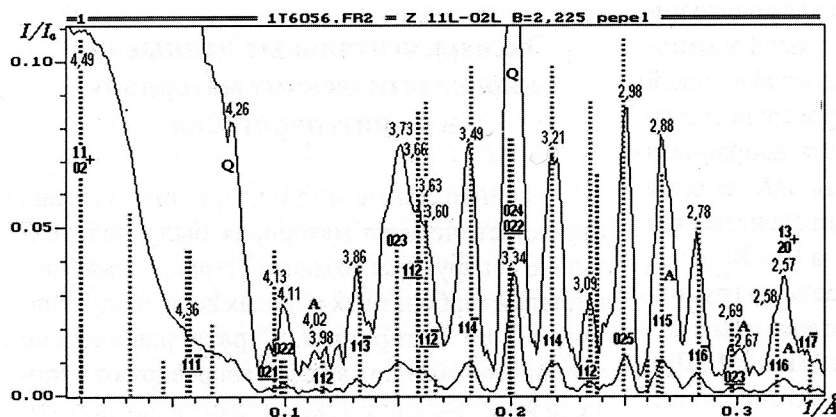
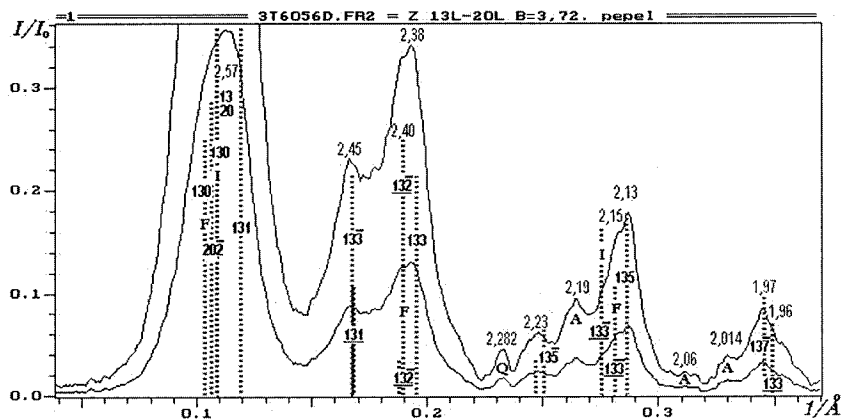


Рис. 2. Дифракционный спектр сканирования зоны 11L – 02L пеплового прослоя.

Символы отражений слюд поли типа 1M подчеркнуты; остальные рефлексы принадлежат мусковиту 2M<sub>1</sub>; штрих-пунктиры отвечают положениям и интенсивностям рефлексов эталонов разных поли типов слюд; A – анкерит.

Рис. 3. Дифракционный спектр сканирования зоны 13L – 20L пеплового прослоя.

Символы отражений слюд политипа 1M: иллита и феррииллита F подчёркнуты; остальные рефлексы принадлежат мусковиту 2M<sub>1</sub>; штрих-пунктиры отвечают положениям и интенсивностям рефлексов эталонов этих политипов.

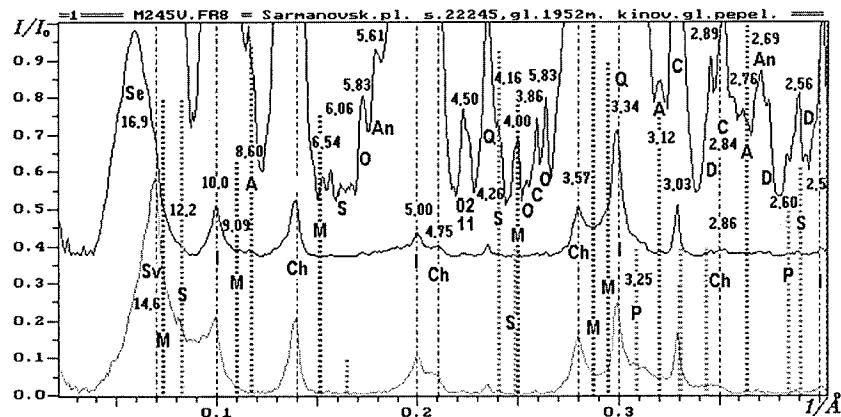


щественное влияние на механизмы как прямой, так и обратной трансформации, увеличивая роль окислительно-восстановительных процессов в системе. При восстановительных условиях переход структурного Fe<sup>3+</sup> в Fe<sup>2+</sup> повышает словую заряд, облегчая фиксацию межслоевого калия. Окислительная среда запускает обратный процесс, стимулируя отрицательную трансформацию [Кричари и др., 1979]. Кроме того, иллита и смешанослойным иллит-сметитам, сформированным по «пепловому» монтмориллониту, сложнее формировать «слядяные» межслоевые промежутки и легче приобретать лабильные, поскольку в значительной мере сохраняется статистический – «монтмориллонитовый» характер распределения катионов и вакансий по октаэдрическим позициям их диоктаэдрических силикатных слоёв, в отличие от структурно-совершенных слюд [Drits, Tchoubar, 1990]. Поэтому при восстановительной обстановке в слабо проницаемых породах практически неизменённый «пепловый» монтмориллонит может встречаться и в таких интервалах разреза, где уровень постдиагенети-

ческих преобразований в целом не ниже мезокатагенеза. Такой монтмориллонит обнаружен в керне скважины 22245 Сармановской площади (глубина 1952 м) среди десятиметровой пачки так называемых «кыновских глин», относящихся, по современной номенклатуре, к тиманскому горизонту франского яруса и сложенных плотными хрупкими аргиллитами и глинистыми алевролитами. Судя по данным кавернометрии он залегает в виде слоя толщиной не менее 1,5 м и представлен вязкой, легко размокающей в воде глиной. По рентгенографическим данным (рис. 4) образец сложен слабо изменённым монтмориллонитом, имеющим малую долю иллитовых пакетов, с примесью хлорита и слюды, представленной здесь исключительно 2M<sub>1</sub> мусковитом. При увеличении масштаба фиксируются вполне отчётливые отражения стильпномелана, морденита, амфибола, пироксена и анальцима (?). Этот слой явно сформирован вулканическим пеплом довольно интенсивного извержения, переносимые объёмы тефры которого были в это время значительными или максимальными.

Рис. 4. Базальные рефлексы глинистой фракции пеплового пласта в пачке «кыновских глин».

Минералы: I – иллит; Ch – хлорит; C – кальцит; D – доломит; M – морденит; S – стильпномелан; A – амфибол; Q – кварц; An – анальцим; Sv – смектит (монтмориллонит) воздушно-сухой; Se – смектит этиленгликоль (средний спектр).





### Роль пирокластики в формировании покрывшей и локализации нефтяных залежей

Известно, что хорошо выдержанные по простиранию “кыновские глины” являются региональной покрывшей продуктивного девона в пределах всего Ромашкинского месторождения нефти. Из сказанного очевидно, что их высокие экранирующие свойства в значительной степени задаются и наличием “пепловых” глин, обладающих фактически нулевой проницаемостью. Было легко предположить, что, за исключением подобных случаев, появление в осадочной толще небольшого количества пирокластического материала не в состоянии, само по себе, улучшать экранирующих свойств покрывшей и влиять на процессы, связанные с формированием или разрушением нефтяных залежей. Однако обнаружено, что даже малая примесь вулканического пепла может локализовать небольшие нефтяные залежи в карбонатном разрезе. Механизм явления рисуется следующим образом [Ахметов и др., 2001]: приход в пласт углеводородного флюида сопровождается появлением специфичной анаэробной микрофлоры, одним из результатов жизнедеятельности которой становится, при сохранении герметичности коллектора, насыщение системы биогенным CO<sub>2</sub>. Это приводит к растворению пелитоморфного кальцита, цементирующего органические остатки, и его частичной доломитизации. Оба процесса сопровождаются увеличением открытой пористости. После разделения флюида на воду и нефть в подвижной реакционной зоне

древнего водо-нефтяного контакта начинается интенсивное биохимическое разложение доломита, кварца и всех аллотигенных силикатов, кроме содержащих структурное железо. Итогом становится появление в первично однородных карбонатах зон вторичного разуплотнения [Сахибгареев, 1989]. Но за счёт перехода в раствор щелочных катионов, глинозёма и кремнезёма происходит быстрый рост pH и образуется геохимический барьер, пространственно приуроченный к тем участкам разреза, где относительная концентрация неустойчивых силикатов максимальна, т.е. в “пепловых” горизонтах. Таким образом, пирокластика стимулирует формирование зон цементации и локализует вторичные покрывшие путём образования аутигенных минералов, среди которых, кроме пелитоморфного кальцита, обычно фиксируются и аутигенные силикаты – сепиолит и палыгорскит. Избыток малоподвижного в нейтральной среде глинозёма быстро связывается в виде основных карбонатов (давсонит, скарброит) и основных сульфатов из группы алюминита – гидробазалюминита [Ахметов и др., 2001]. Поэтому небольшие залежи в относительно однородной карбонатной толще часто приурочены к зонам разуплотнения между “пепловыми горизонтами”, где в шлифах наблюдаются структуры зон цементации, а по рентгенографическим данным фиксируются индикаторы камуфлированной пирокластики. Участок разреза скважины 1164 Дёмкинской площади иллюстрирует сказанное (рис. 5). За исключением устойчивых к бактериальному разложению фемических минералов биохимические процессы приводят к

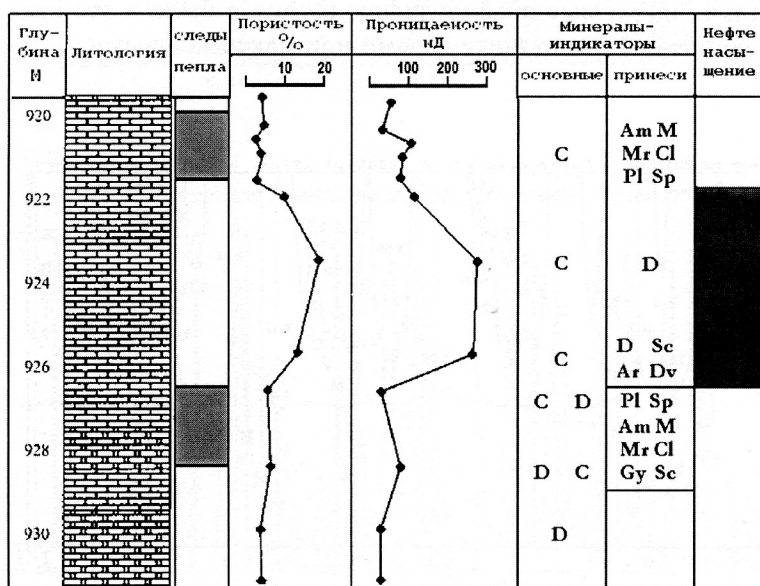


Рис. 5. Участок разреза башкирского яруса скважины 1164 Демкинского месторождения нефти, в котором “пепловые горизонты” локализуют небольшую залежь.

Минералы: С – кальцит; D – доломит; Gy – гипс; Pl – палыгорскит; Sp – сепиолит; M – мусковит; Mr – морденит; Am – амфибол; Cl – клиноптилолит; Sc – скарброит; Dv – давсонит; Ar – артинит.

полной или почти полной перекристаллизации всего пеплового материала в неравновесных условиях. Если за пределами нефтенакопления “пепловый” цеолит представлен только клиноптилолитом и (или) морденитом, как в туфах орогенных областей, то в “зонах цементации” часто удаётся зафиксировать совместное присутствие двух и более, сильно отличающихся по формульному содержанию кремнезёма, цеолитов, например морденита и ломонтита (рис. 6). По мощности “пепловые горизонты” не превышают, как правило, 1–2 метра. Однако принципиально иная ситуация наблюдается на Дёмкинском поднятии, отдельные участки которого во время предвизейской регрессии выводились на дневную поверхность. Здесь мы имеем относительно равномерное распределение предельно низких концентраций пирокластики по всему карбонатному разрезу вплоть до кровли тульских отложений. Явно имеет место транспортировка пеплового материала атмосферными водами, которые одновременно увеличивали открытую пористость коллекторов. Дебиты скважин на таких объектах превышают обычные в несколько раз. Таким образом, изучение “пепловой компоненты” помогает выявлять и перемены седиментации.

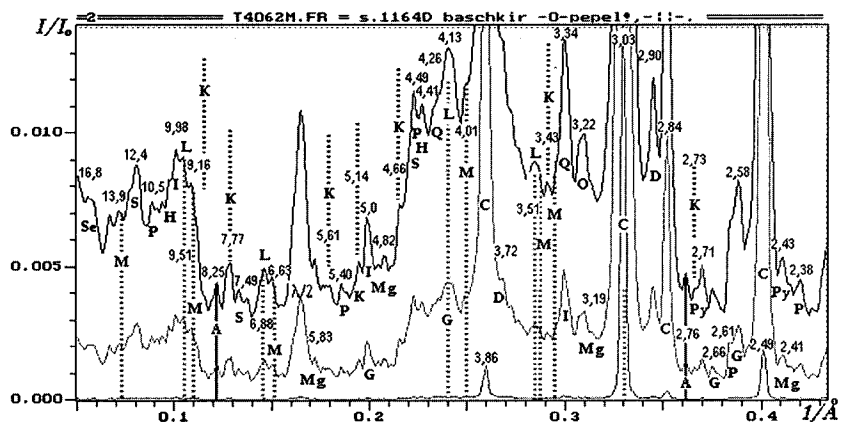
### Влияние пирокластики на процессы фильтрации в терригенных коллекторах

Основные продуктивные пласты терригенного девона Татарстана представлены кварцевыми песчаниками и алевролитами, сформировавшимися в прибрежно-морских фациальных обстановках. Содержание в них пелитовой фракции, сложенной примерно наполовину обломочным кварцем и полевыми шпатами, редко пре-

вышает 8–10 % и чаще составляет 3–5 %. Однако анализ промысловых данных, накопленных за 50 лет эксплуатации Ромашкинского месторождения, показывает, что в ходе закачки пресных приповерхностных вод, при снижении плотности пластовой воды до 1,09 г/см<sup>3</sup>, пласты с повышенной общей глинистостью резко снижают свои фильтрационные свойства либо просто перестают участвовать в нефтедобыче [Муслимов и др., 1998]. В высокопроницаемых литологически однородных пластах часто происходит непредсказуемый прорыв нагнетаемых вод, который нельзя объяснить с позиций гидродинамики или нарушения режимов эксплуатации. Явление набухания глинистого цемента не может служить в данном случае объяснением, поскольку в проницаемых породах на глубине более 2 км все смектиты должны трансформироваться в иллит и смешанослойные иллит-смектитовые фазы с низким содержанием способных к набуханию межслоевых промежутков смектитового типа [Дриц, Коссовская, 1990], что и наблюдается на практике. Но и в этом случае существенную роль при техногенной смене гидрохимического режима пласта начинает играть уже отмеченная кристаллохимическая специфика “пеплового” монтмориллонита. Наличие свободного кислорода в воде, закачиваемой в пласт из поверхностных источников, приводит к окислению структурного Fe<sup>2+</sup> в продуктах его катагенетических преобразований, что снижает их слоевой заряд и стимулирует обратную трансформацию неупорядоченных 1M<sub>d</sub> слюд и смешанослойных фаз в смектит. Катионная разупорядоченность в силикатных 2:1 слоях и обилие нерегулярных дефектов в характере их сочленения облегчает и ускоряет процесс, поскольку сила межслоевых связей у слюд с турбостратической структурой меньше чем

Рис. 6. Дифракционный спектр известняка из зоны цементации в “пепловом горизонте”.

Скв. 1164 Дёмкинского месторождения нефти. Минералы: С – кальцит; D – доломит; Py – пирит; P – палыгорскит, S – сепиолит, I – иллит (следы), A – амфибол, L – ломонтит, M – морденит, F – филлипсит, Mg – маггемит.



у трёхмерно упорядоченного политипа 1М [Drits, Tchoubar, 1990]. Примером могут служить изменения по разрезу состава пелитовой фракции образцов песчаника продуктивного пласта Д<sub>1а</sub> в скважине 5454д Алькеевской площади, которая была пробурена в качестве дублера нагнетательной 5454 после её длительной эксплуатации в основном разрезающем ряду. По данным ГИС скважины 5454 коллектор был практически однородным в интервале 1777,0–1774,0 м, но до начала бурения скважины-дублёра он приобрёл ярко выраженную зональность. Верхняя часть пласта с определённой по керну эффективной пористостью 18,6 % в интервале 1774,0–1775,5 м сохранила исходную нефтенасыщенность. Средина пласта в интервале 1775,5–1777,0 м интенсивно промыта и увеличила эффективную пористость до 20,0 %. Нижняя, содержащая нефть, часть пласта (интервал 1777,0–1778,6 м), изначально была представлена более плотным глинистым алевритистым песчаником с эффективной пористостью 17,8 %. Кроме поверхностных вод проводилась и закачка кислот. На рисунке 7 приведены в одном вертикальном масштабе дифракционные картины глинистой фракции трёх наиболее типичных, из семи проанализированных, образцов характеризующих соответственно верхнюю, центральную и нижнюю части пласта. Вблизи кровли (спектр а) концентрация разбухающих фаз крайне мала, преобладает слюда и присутствует хлорит, как и в десятках других образцов пород девона, не испытавших техногенных воздействий. Средний спектр (b) соответствует промытой части пласта, где наблюдается отражение разбухшего в

этиленгликоле монтмориллонита, а “слодяных” фаз значительно меньше. Нижний спектр (с) не содержит рефлексов иных минералов кроме слюды, каолинита и кварца при низком содержании смешанослойных фаз. Влияние растворяющего действия кислот фиксируется только на спектрах (b) и (с), где отсутствует хлорит. Исходный состав глинистой фракции в пределах единого пласта не может иметь столь существенных различий и вторичная природа смектитовой компоненты становится вполне очевидной. Обратная трансформация иллитита и иллит-смектита идёт в реальном масштабе времени и очень быстро, поскольку аналогичные явления наблюдались и в скважине 3260д Абдрахмановской площади на объектах, начало обводнения которых было зафиксировано специальными методами ГИС за несколько месяцев до отбора керна. Чтобы оценить масштабы присутствия пирокластического материала и образования “вторичного” смектита в песчаниках продуктивного девона Татарстана была исследована глинистая компонента усреднённой пелитовой фракции, выделенной в ТатНИПИнефть из 28 образцов керна с обводнённых участков пласта Д<sub>1</sub> на различных площадях Ромашкинского месторождения. Дифракционные картины базальных отражений этого образца (рис. 8) демонстрируют не только наличие смектита как самостоятельной минеральной фазы, но и примесь клиноптилолита, а так же других минералов-индикаторов камуфлированной пирокластике. Таким образом, если в породах формировавшихся в условиях спокойной морской седиментации (известняках, аргиллитах) пирокластический

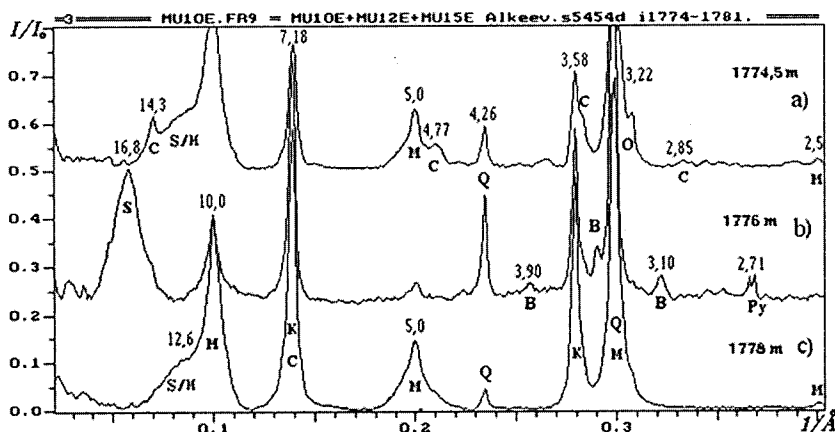


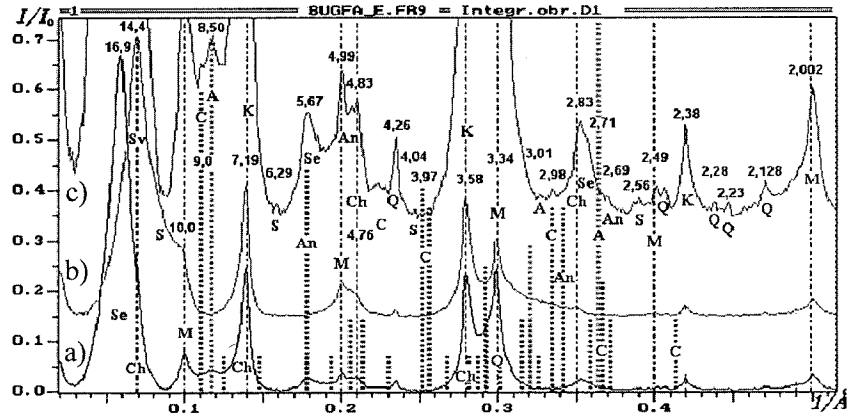
Рис. 7. Дифракционные картины глинистой фракции трех образцов из одного продуктивного пласта Д<sub>1</sub> песчаника из скважины-дублёра 5454д Алькеевской площади.

Минералы: К – каолинит; М – иллит; S – смектит этиленгликоль; С – хлорит; В – барит; О – ортоклаз; Py – пирит; S/M – смешанослойные фазы иллит-смектит. а) нефтенасыщенная зона, б) промытая зона, с) менее проницаемый участок пласта.



Рис. 8. Минеральный состав глинистой фракции интегрального образца заводнённых песчаников пласта Д<sub>1</sub> Ромашкинского месторождения.

Минералы: Sv – смектит, Se – смектит (этиленгликоль), М – мусковит, К – каолинит, Сl – клиноптилолит, А – амфибол, S – стильпномелан, Ап – анальцит, Ch – хлорит, Q – кварц; а) этиленгликоль, б) воздушно-сухой, в) спектр с этиленгликолем в масштабе 10:1.



материал чаще локализуется в виде отдельных “пепловых горизонтов”, то в динамичной среде прибрежно-морских фаций он распределяется относительно равномерно по всему объёму проницаемых терригенных пород.

Однако появление в коллекторе способных к набуханию вторичных минеральных фаз не может, само по себе, объяснить ни резкого снижения фильтрующей способности девонских песчаников, ни линейных прорывов нагнетаемых вод по литологически однородным пластам. Расчёты, выполненные на основе достаточно строгой физической модели процесса набухания смектитовой компоненты, показали, что, при реальной для основных продуктивных пластов девона Татарстана общей глинистости и минеральном составе цемента, относительное снижение пористости за счёт этого эффекта не может превышать 0,4 %, т.е. выходить за пределы точности её экспериментального определения [Krinari et al., 2000]. Кроме того, как было видно из примера со скважиной 5454Д, техногенное обводнение сопровождается не снижением, а повышением открытой пористости. Становится очевидным, что обратная трансформация “пепловых” иллитов и иллит-смектитов запускает целый комплекс явлений физической и физико-химической природы, требующих учёта и специального рассмотрения. Так было показано, что замещение даже небольшого количества “иллитовых” межслоевых промежутков на “смектитовые” в прочных, почти лишённых набухающих компонент, аргиллитах приводит к таким механическим напряжениям, которые способны сминать обсадные и насосно-компрессорные трубы [Кринари и др., 2001]. В пори-

стых породах аналогичные по физической природе явления приводят к диспергации глинистых агрегатов и их сегрегации на смектитовую и слюдяную компоненты. Новообразованный смектит, в силу своей исключительно высокой дисперсности, должен быстро коагулировать в наиболее тонких, не участвующих в фильтрации, порах, где концентрация электролита значительно выше. Тонкие частицы других минералов, включая и “фундаментальные частицы” слюды политипа 1М, приобретают способность увлекаться потоком флюида и перемещаться в пласте на значительные расстояния. Для экспериментальной проверки этой концепции исследовался минеральный состав осадка из отстойников установок по первичной подготовке нефти. Кроме продуктов реакций, протекавших за пределами пласта, в нём надёжно установлена небольшая примесь каолинита, а смектит практически отсутствует. Фиксируются слабые, но вполне достаточные для однозначной интерпретации, отражения минералов камуфлированной пирокластике: клиноптилолита и амфибола, что ещё раз подтверждает существенную роль вулканического пепла при формировании продуктивных пластов (рис. 9). Но преобладающим минералом, среди привнесённых потоком, является иллит, базальные отражения которого не содержат признаков смешанослойности, что позволяет отнести эту фазу к “фундаментальным частицам”. Лишившись своей “оболочки” из неупорядоченных иллитов и смешанослойных фаз, они несут высокий поверхностный заряд, примерно равный половине заряда слюдяного слоя, который составляет 2e на элементарную ячейку (e – заряд электрона). Компенсировать

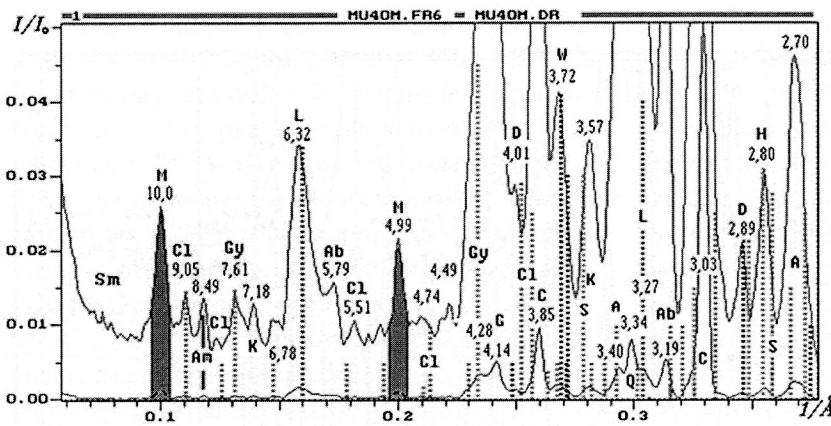


Рис. 9. Дифракционная картина осадка с установки по первичной подготовке нефти.

Минералы: С – кальцит; А – арагонит; Q – кварц; D – доломит; М – слюда; Cl – клинопиллолит; Am – амфибол; Gy – гипс; G – гетит; L – лепидокрокит; Ab – альбит; К – каолинит; W – витерит; Н – галит.

его могут только “антистоксовские” катионы – К, Rb, Cs, которые в нагнетаемой пресной воде отсутствуют. Механически фиксируясь на неоднородностях поровых каналов, “фундаментальные частицы” создают за счёт высокого заряда поверхности обратный электроосмотический поток, тормозящий фильтрацию. Расчёты показывают, что, при реальных для продуктивного девона Татарстана литолого-минералогических характеристиках коллекторов и составе пластовых вод, можно объяснить на основе этого механизма любое снижение фильтрации вплоть до полного её прекращения [Krinari et al., 2000]. В процессе вытеснения нефти водой электрокинетические эффекты формируют в коллекторе два “электроосмотических экрана”, на которых возникают резкие градиенты скорости фильтрации. С течением времени они приобретают форму поверхностей, параллельных границам пласта, что приводит к необъяснимому с позиций обычной гидродинамики обводнению продуктивных пластов и образованию целиков. Двумерные литологические неоднородности пласта интенсифицируют обводнение, но не становятся в таком случае его первопричиной. Поэтому существующие технологии блокирования зон прорыва могут давать только временный положительный эффект, смещая, но не ликвидируя, “электроосмотические экраны”, что и наблюдается в промысловой практике.

### “Пепловые горизонты” как реперы для корреляции продуктивных пластов

Широкое внедрение компьютерных систем оптимизации нефтедобычи повысило требования к объективности исходной геологической модели продуктивной толщи, надёжности

корреляции отдельных проницаемых пластов и выявлению областей их выклинивания. Широко применявшийся способ “прямого прослеживания” коллекторов по данным ГИС соседних скважин выполнение таких требований обеспечить не может, поскольку в соответствии с законом “геологической чечевицы” Головкинского или внутренней структурой секвента Ван-Ваганера, что практически одно и то же, внешние границы песчаных тел не могут быть ни строго параллельными, ни строго изохронными. Поэтому примерно на одном гипсометрическом уровне могут находиться близкие по внешнему литологическому облику породы, сформированные в пределах разнонаправленных – “onlap” и “downlap” разновозрастных слоевых последовательностей. Известны случаи, когда за один продуктивный пласт принимались две разновозрастные линзы. В краевых частях Южнотатарского свода локализация небольших нефтяных залежей в продуктивном девоне часто задаётся взаимным расположением мелких структур и границ клиноформ. Скважины, заданные без учёта этих особенностей, обычно оказываются “пустыми” [Муслимов и др., 1996]. Решение подобных задач в последние десятилетия базируются на применении методов ритмо- и сейсмостратиграфии [Карагодин, 1990], позволяющих устанавливать истинную конфигурацию границ слоевых ассоциаций в геологическом пространстве. Но успешная реализация и развитие этих методов требует априорного выделения в разрезах изохронных реперных поверхностей, которые могут быть приняты за начало отсчёта последовательности циклитов (парасеквентов). Присутствие в продуктивном разрезе “пепловых горизонтов” существенно упрощает задачу, поскольку границы таких горизонтов всегда более изохронны, чем любые другие ли-

тологические границы. Однако прямая минералогическая диагностика присутствия пирокластики вряд ли имеет в данном случае перспективу, поскольку выход зерна при бурении нефтяных скважин в целом невелик. Необходимо развитие косвенных методов диагностики вулканогенного материала на основе данных скважинной геофизики. Принципиальная возможность выявления “пепловых” горизонтов методами ГИС основана на существенных различиях относительных концентраций элементов (K, U, Th), дающих главный вклад в естественную радиоактивность, для нормально осадочных пород и эффузивов. Задача достаточно успешно решается фирмой “Шлюмберже” и отечественными исследователями путем совместной интерпретации данных скважинной гамма-спектрометрии и нейтронной пористости, но неизбежно требует увязки с минералогическими критериями. Проведенный с Д.А. Кожевниковым анализ ядерного и геофизического материала по скважине 12139 Сармановской площади подтвердил минералогическими данными не только установленное путём интерпретации ГИС присутствие “пеплового горизонта” в пашийском аргиллите, но и наличие следов пепла и в продуктивном песчанике, общая глинистость которого не превышала 4 % [Мухаметшин и др., 1997].

### Заключение

Из приведённых результатов следует, что интерес к вулканической деятельности, неизбежно возникающей на определённых этапах геологической истории литосферных плит, не должен ограничиваться только орогенными областями. Вулканический пепел, переносимый воздушными потоками на значительные расстояния, оказывает заметное влияние на формирование осадочных толщ в сопредельных регионах. Его роль только усиливается в ходе вторичных преобразований пород, естественных или техногенных, особенно при появлении природных углеводородов. Поскольку основные нефтегазоносные провинции тяготеют к окраинам платформ и областям глобальных тектонических нарушений, последнее обстоятельство приобретает особое значение для нефтяной геологии. Даже небольшая примесь пирокластического материала становится важным фактором, влияющим на механизмы формирования или разрушения нефтяных залежей в карбонатных толщах путём образования

локальных покрывок в первично проницаемых породах. В терригенных коллекторах кристаллохимические особенности “пеплового” смектита стимулируют процессы трансформации глинистой компоненты, приводящие к резкому снижению фильтрационных характеристик пласта и падению нефтедобычи. Разработанный без учёта подобных явлений математический формализм, вычислительные процедуры и созданные на их базе компьютерные системы, которые начали широко использоваться при разработке нефтяных месторождений, нельзя автоматически переносить на объекты, аналогичные девонской продуктивной толще Татарстана. В то же время присутствие в осадочной толще строго изохронных “пепловых горизонтов”, при наличии соответствующих геофизических технологий их выделения, сможет существенно повысить надёжность построения геологических моделей промысловых объектов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта INTAS, проект 99-1810.*

### Список литературы

- Ахметов Н.З., Бахтин А.И., Васильева Т.Л. и др. Возможности предварительной оценки продуктивности карбонатных коллекторов по литолого-минералогическим данным // Георесурсы. 2001. № 2 [6]. С. 8–15.
- Дриц В.А., Коссовская А.Г. Глинистые минералы: Смектиты, смешанослойные образования. М.: Наука, 1990. 206 с.
- Дриц В.А., Коссовская А.Г. Глинистые минералы: слюды, хлориты. М.: Наука, 1991. 175 с.
- Звягин Б.Б., Кринари Г.А. Геометрические особенности и принципы регистрации дифракционных картин текстурированных объектов // Кристаллография. 1989. Т. 34. Вып. 2. С. 288–291.
- Карагодин Ю.Н. Введение в нефтяную литологию. Новосибирск: Наука, 1990. 240 с.
- Коссовская А.Г. Генетические типы цеолитов стратиформных формаций // Литология и полез. ископаемые. 1975. № 2. С. 23–44.
- Кринари Г.А., Акдасов Э.И., Семёнов А.В. Высокочувствительная рентгеновская порошковая дифрактометрия – методические основы и пути практического использования // Спектроскопия, рентгенография и кристаллохимия минералов. Казань: Изд-во КГУ, 1996. С. 57–67.
- Кринари Г.А., Храменков М.Г., Мухаметшин Р.З. Причины и механизмы разрушения стенок скважин в

кыновских глинах // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2001. № 4. С. 15–22.

*Лаврушин В.Ю., Лаврушин Ю.А. Кулешов В.Н., Антипов М.П.* Первая находка вулканического пепла в четвертичных отложениях Нижнего Поволжья // Литология и полез. ископаемые. 1998. № 2. С. 207–218.

*Муслимов Р.Х., Куликов С.А., Кринари Г.А.* Сейсмостратиграфический анализ терригенных отложений девона в Татарстане в связи с поисками и разведкой сложнопостроенных залежей нефти // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1996. № 7. С. 12–17.

*Муслимов Р.Х., Мухаметшин Р.З., Долженков В.Н. и др.* Оживление глинодержащих пластов на Ромашкинском нефтяном месторождении // Опыт разведки и разработки Ромашкинского и других крупных нефтяных месторождений Волго-Камского региона. Казань: "Новое Знание", 1998. С. 207–211.

*Мухаметшин Р.З., Кожеевников Д.А., Кринари Г.А.* Изучение минералогической глинистости с использованием гамма-спектрометрии / Международная Геофизическая Конференция и Выставка «Москва 97». Москва: Совинцентр. L 2.5.

*Сахибгареев Р.С.* Вторичные изменения коллекторов в процессе формирования и разрушения нефтяных залежей. Л.: Недра, 1989. 260 с.

*Drits V.A., Tchoubar C.* X-ray Diffraction by Disordered Lamellar Structures. Berlin: Springer-Verlag. 1990. 371 p.

*Krinari G.A., Khranchenkov M.G., Muslimov R.Kh.* Artificial Reverse Mica Transformaion and its Role in Oil Production // Georesources. 2000. № 2. P. 30–37.

*McCarty D.K. and Reynolds R.C. Jr.* Three-dimensional crystal structures of illite-smectite minerals in Paleozoic K-bentonites from the Appalachian Basin // Clays and Clay Minerals. 2001. N 49. P. 24–35.

*Plancon A., Rousseaux F., Tchoubar D. et al.* Recording and Calculation of hk Rod Intensities in Case of Diffraction by Highly Oriented Powders of Lamellar Samples // Journal of Applied Crystallography. 1982. V. 15. P. 509–512.

*Srodon J, Elsass F.* Effect of the shap of fundamental particles on XRD characteristics of illitic minerals // European Journal of Mineralogy. 1994. N 6. P. 113–122.

*Рецензент доктор г.-м. наук Л.В. Анфимов*