

УДК 543.422.8

*Р. НАСИРОВ¹, А.П. СЛЮСАРЕВ², И.Б. САМАТОВ³,
Л.А. МЫЛТЫКБАЕВА⁴, Г.К. БЕКЕНОВА⁵, Ж. ГАБДУЛЛИН*

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ЭПР, ИК-СПЕКТРОСКОПИИ И РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Каспий бассейні мұнайгаз (МГБ) аумағындағы шөгінді тау жыныстарын минералды-геологиялық талдаудың экспериментальді тексеру жұмыстары істелініп, оларды ЭПР, ИК-спектроскопия мен рентген дифрактометрия әдістері арқылы ақпарат алу бағаланды.

Негізгі рентгендифрактометрикалық сипаттамаларды қолдану арқылы нақты кималардағы тау жыныстардың қасиеттеріне әсер ететін факторларды анықтап, оны диагностикалық қасиеттер, көрсеткіштер мен критерийлер ретінде алу – тау жыныстарының өнімділігінің келешегін анықтаудың сенімді әдісі ретінде қолдануға болатыны табылды.

Проведены экспериментальные работы по минералого-геохимическому анализу осадочных пород Прикаспийского нефтегазового бассейна (НГБ), даны оценки информативности методов ЭПР, ИК-спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии.

Выявление факторов, влияющих на свойства пород в конкретных разрезах, позволяет разрабатывать надежные методы прогноза перспектив их продуктивности на основе использования рентгендифрактометрических, ЭПР и ИК-спектроскопических характеристик в качестве диагностических признаков, показателей и критериев.

The results of mineralogy-geochemical study of Pre-Caspian oil-and-gas region sedimentary rocks are obtained, estimation of information value of X-ray diffraction, EPR and IR-spectroscopy methods are given.

Revealing factors, which influence on rock properties in concrete open-pit mine, allows to develop reliable methods of the forecast of prospects of their efficiency using X-ray diffraction characteristics as diagnostic attributes, parameters and criteria.

Формирование коллекторских и экранирующих свойств осадочных пород связано с комплексом геологических процессов, приводящих к появлению, миграции, накоплению жидких углеводородов и реализации нефтегенерирующего потенциала нефтегазового бассейна. В связи с этим одной из важнейших задач является изучение условий и геохимических закономерностей образования нефтегазоносных отложений для прогнозирования нефтегазоносности осадочных отложений.

В последние годы при минералого-геохимическом анализе горных пород большое внимание уделяется физическим методам исследования, основным преимуществом которых является экспрессность, высокая точность и надежность по сравнению с традиционными геолого-геофизическими и петрофизическими методами.

Однако, полное описание минералогического состава продуктивных отложений представляет

собой очень сложную задачу, решение которой возможно только при полном сочетании традиционных методов минералогических и петрографических исследований с современными физико-химическими методами: термическим (для глин) и рентгеноструктурным анализами, инфракрасной спектроскопией, электронным парамагнитным резонансом (ЭПР), ядерным магнитным резонансом (ЯМР), атомно-абсорбционным анализом (ААА), рентгено-флуоресцентным анализом (РФА) и др.

В данной работе были проведены экспериментальные работы по оценке информативности методов ЭПР, ИК-спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии при минералого-геохимическом анализе осадочных пород Прикаспийского нефтегазового бассейна (НГБ).

Строение и состав глинисто-карбонатно-кремнистых пачек в разрезах нефтегазоносных толщ определяются дифференциацией вещества

в бассейне седиментации и последующими диагенетическими преобразованиями. Важнейшее влияние на процессы миграции углеводородов, формирования месторождений нефти и газа, их освоение и продуктивность оказывает поведение глин и глинистых минералов. В настоящей статье приводятся результаты изучения распространенности и свойств глинистых минералов на этапах последовательного изменения осадочных пород. Форма и размер частиц, структура, состав и генезис глинистых минералов, их тип, распределение и преобразования в пределах продуктивных горизонтов влияют на коллекторские свойства и определяют качество пород-резервуаров.

Минеральный состав мало погруженных осадков характеризуется широким разнообразием и вариациями, отражающими палеообстановку накопления и условия на земной поверхности. По мере погружения осадочных толщ происходит преобразование состава и кристаллической структуры глинистых минералов и развитие смешанослойных минералов (ССМ). Глинистая ассоциация упрощается: происходит обогащение иллитом (И) и хлоритом (Х) за счет смектита (СМ), содержание разбухающих слоев в структуре нерегулярных ССМ уменьшается, упорядоченность переслаивания увеличивается. Такое преобразование соответствует увеличению температуры и давления при переходе от условий раннего диагенеза к позднему. Глубина такого перехода зависит от геотермального градиента, литологического строения и проницаемости пород, тектоники, циркуляции гидротермальных растворов. Изучение корреляции содержания смектитовых слоев в смешанослойных структурах и их распределение в разрезе позволяет оценить степень термической зрелости нефтематеринских пород. Температура интенсивной генерации нефти из органического материала приблизительно совпадает с температурой иллитизации и появления упорядоченных И/СМ. Локальные нарушения зональности структурных характеристик и упорядоченности глинистых минералов указывают на аномалии диагенетических преобразований. Выявление факторов, влияющих на свойства пород в конкретных разрезах, позволяет разрабатывать надежные методы прогноза перспектив их продуктивности на основе использования рентгенодифрактометрических характеристик в качестве диагностических признаков, показате-

лей и критериев. Решение этих актуальных задач: контроль вариации минеральных ассоциаций, физическая и минералогическая модификация глин последовательных пачек терригенной толщи стало целью данного исследования.

Объектами исследования были образцы кернового материала терригенных толщ палеозойских пород, вскрытых 39 скважинами глубокого бурения 19 площадей восточного и юго-восточного бортов Прикаспийской впадины.

Методами рентгеновской дифрактометрии определен минеральный состав пород, гранулометрических фракций и изменение кристаллохимических характеристик глинистых минералов по разрезам подсолевых глинисто-терригенных и карбонатных толщ. Применение методов рентгеновской дифрактометрии с регистрацией комплекса критериев структурного состояния минералов выявляет такие кристаллохимические характеристики, которые способны служить индикаторами определенных стадий осадочного породообразования и зональности диагенеза. С этой целью определялись степень кристалличности, коэффициент вариации базальных межплоскостных расстояний (K_p), упорядоченность и содержание разбухающих слоев в структуре смешанослойных образований, изменение катионного состава межслоя, содержание рентгеноаморфных дисперсных компонентов (АДК), политипия. Для выяснения закономерностей и степени диагенетического преобразования глинистых минералов, соотношения процессов их агрегации-деградации контролировалось изменение ассоциации, состава и степень совершенства кристаллического строения минералов последовательных глинистых фракций: мелкоалевритовой (0,001-0,005) и субколлоидальной (пелитовой, размерностью < 0,001 мм). Для изученных разрезов терригенных толщ характерно присутствие прослоев аргиллитов с большим содержанием диоктаэдрического Na-смектита (до 90 %), причем зональность их размещения не зависит от глубины отложений.

Смектиты характеризуются малыми размерами кристаллитов, высокой удельной поверхностью и обменной емкостью, низким межслоевым зарядом. Все это способствует активному преобразованию смектитов, которое проявляется на ранних стадиях диагенеза. Смектит более древних пачек характеризуется значительным коэффициентом вариации базальных межплоскостных

расстояний в природном воздушно-сухом и насыщенном этиленгликолем состояниях. Это связано с переслаиванием полностью дегидратированных и гидратированных слоев в смешанослойной структуре различной степени упорядоченности. Большинство смектитов содержит некоторое количество иллитоподобных слоев. Гетерогенные смектиты проявляются на дифрактограммах уширением максимума отражения или даже его раздвоением. Они дают рефлекс $17 - 17,5 \text{ \AA}$ в насыщенном этиленгликолем состоянии. Присутствие 17 \AA дифракционного пика показывает, что потенциальные нефтематеринские породы не достигли температуры зрелости или недостаточно зрелые.

В процессе погружения и глубинного диагенеза пород смектиты трансформируются или в иллиты в К – обстановке через стадию ССМ иллит/смектит, или в хлориты через стадию корренситоподобных минералов в магнезиальной обстановке. На начальном этапе образуются разупорядоченные И/СМ с иллитовыми прослоями, содержащими около 0,5 ф.е. (формульных единиц) калия (К). С увеличением степени диагенеза увеличивается содержание тетраэдрического Al. По мере уменьшения количества разбухающих слоев и дальнейшего замещения кремния алюминием в тетраэдрической сетке, формируются более крупные иллитовые частицы с увеличенным зарядом слоя и содержанием К в межслое до 1,0 ф.е. Освобождение воды при иллитизации смектитов оказывает важное воздействие на поведение углеводородов, влияет на транспортировку ионов, растворение – осаждение цементов.

Смешанослойные минералы, как промежуточные продукты преобразования смектитов, широко распространены в глинах терригенных пачек осадочных пород Прикаспийской впадины, причем преобладают ССМ иллит/смектиты. Они являются чувствительным индикатором степени диагенеза. Форма дифрактограмм ССМ зависит от вида и содержания компонентов смешанослойной структуры, типа и степени упорядоченности их переслаивания, толщины кристаллитов частиц глинистых минералов. Основным признаком смешанослойности – нарушение регулярности базальных рефлексов. По положению дифракционных пиков насыщенных этиленгликолем ССМ иллит/смектит определялись упорядочен-

ность, тип переслаивания и содержание разбухающих слоев в смешанослойной структуре. ССМ образуют непрерывные по составу и упорядоченности серии и могут входить в состав гетерогенных образцов, находясь в ассоциации с дискретными иллитом и смектитом. Образование иллит-смектитов может быть связано как с деградацией слюд, так и с аградационными преобразованиями смектитов. Направленность преобразований глинистых минералов зависит от химизма и термобарических условий среды. Последовательные стадии диагенетического преобразования И/СМ прослеживаются по профилю погруженных пород. Содержание разбухающих слоев в структуре ССМ И/СМ уменьшается с ростом глубины и температуры пород. При этом происходит упорядочение переслаивания. Локальные изменения закономерности преобразования ССМ могут быть связаны с зонами тектонических нарушений. В изучаемых толщах ССМ обычно гетерогенны. Дифракционный рефлекс ССМ мелкоалевритовой фракции асимметричен со стороны малых углов дифракции и занимает область 11 \AA , тогда как у ССМ пелитовой фракции рефлекс ($10,2 \text{ \AA}$) смещен к положению пика иллита, что указывает на уменьшенное содержание разбухающих пакетов и преобладание аградационного типа преобразования пород. Степень постдиагенетических преобразований не высока и соответствует этапу формирования гетерогенных ССМ с разупорядоченным чередованием слоев, тогда как в глубоко эпигенетически измененных породах проявляется слюдополитипной модификации $2M_1$.

Слюдистые минералы – мусковиты и иллиты менее широко распространены в изучаемых терригенных толщах. Здесь преобразование иллитов проявляется в изменении степени совершенства структуры. Кристалличность иллитов возрастает при уменьшении содержания смектита и падает с увеличением содержания ССМ. С увеличением глубины погружения осадочных толщ кристалличность иллитов увеличивается, благодаря фиксации К в межслое, и может использоваться, как количественный показатель термической зрелости пород. Однако общая закономерность осложняется предысторией детритового материала.

Хлориты в изучаемых отложениях распространены в меньшей степени и наблюдаются только

в ХИСМ-ассоциации. Состав хлоритов определяется замещениями в тальковом (2:1) и бруситовом слоях, катионным распределением Fe-Mg в октаэдрических позициях. Трансформация триоктаэдрических глинистых минералов при глубинном диагенезе реализуется в ряду сапонит-ССМ-хлорит. С ростом глубины залегания увеличивается содержание хлоритовых слоев. Замещение кремния алюминием сопровождается фиксацией в межслое гидроксидной сетки. Вода в структуре хлорита содержится в гидроксидной форме, поэтому образование хлорита оказывает гидродинамическое воздействие на нефтегенерирующие породы и миграцию первичных углеводородов, связывая воду в процессе обезвоживания смектитов.

В подсолевых отложениях Прикаспия установлено зональное повышение активности магния (площади Жанажол, Терескен) и развитие сапонитов, корренситоподобных минералов (КПМ) и хлоритов. Смешанослойные магнезиальные КПМ седиментационно-диагенетического генезиса распространены в отложениях визейского яруса терригенной толщи площади Терескен. Преобразование смектит-хлорит и появление КПМ происходит в диапазоне температур 70-90°C. В условиях нарастающей температуры при погружении пород реализуется стадийное преобразование смектит – корренситоподобные смешанослойные смектит/хлориты – хлоритовые минералы. При этом КПМ являются индикаторными минералами, появляющимися в определенном интервале температур и уровне регионального эпигенеза. Формирование ССМ СМ/Х, соотношение разбухающих и бруситовых промежутков, упорядоченность их чередования зависят от катионного состава поровых растворов и проницаемости пород. Более упорядоченные крупнокристаллические разности (корренситы) характерны для хорошо отсортированных песчаников. Поскольку для корренситов разного генезиса характерна практическая идентичность состава, информацию об условиях их формирования можно получить, выявляя характерные парагенетические спутники КПМ, степень упорядоченности их структуры, содержание разбухающих слоев и другие кристаллохимические особенности.

Важную информацию о механизме преобразования глинистых минералов дает контроль распределения по разрезу толщи дисперсных рент-

геноаморфных веществ (РАВ). Рентгеноаморфное и органическое вещество (ОВ) проявляются на рентгеновской дифрактограмме присутствием диффузного гало в угловой области 16 – 26° (2θ, Си – излучение), изменяя форму, конфигурацию и положение диффузного максимума.

Значительную долю вещества в валовом составе глинистых осадочных пород представляют аморфные дисперсные компоненты. Они играют индикаторную роль интенсивности и зональности преобразования пород. Природа и количество АДК оказывают влияние на диагенетические процессы и их присутствие необходимо учитывать при реконструкции палеообстановки и интерпретации стадий диагенеза. АДК увеличивают интенсивность фонового рассеяния рентгеновского луча дифрактометра в малоугловой области (1 – 4° 2θ). Изменение количества АДК по профилю отложений выявляет зоны активной дезинтеграции минералов.

Для понимания эволюции нефтегазоносных отложений важным этапом исследований является установление типа процессов, направленности и интенсивности преобразования глинистых минералов. Применение комплекса методов рентгеновской дифрактометрии для анализа кристаллохимических особенностей минералов из образцов глинистых фракций различной крупности проясняет закономерности процессов глубинного диагенетического преобразования. Интерпретация полученных данных основана на различном поведении частиц минералов в условиях разложения аллотигенного материала или синтеза новообразований. При разложении аллотигенных минералов более мелкие частицы подвергаются более интенсивному изменению кристаллохимических параметров. В этом случае на дифрактограммах образцов фракций < 0,001 мм регистрируется увеличение коэффициента вариации межплоскостных расстояний и изменение катионного состава по сравнению с фракцией 0,001-0,005 мм. В случае синтеза аутигенных минералов частицы различной крупности имеют одинаковую природу и не различаются по характеристикам структурного состояния. Например, на дифрактограммах ориентированных препаратов пелитовой и алевритовой фракций аргиллитов пл. Тортай (скв. 4) проявляются особенности преобразования глинистых минералов. Пелитовая фракция аргиллитов нижнего горизонта разреза

содержит ХИССМ – ассоциацию с преобладанием гидрослюды и хлорита. В вышележащих горизонтах уменьшается содержание хлорита и увеличивается содержание смешанослойных компонентов, причем возрастает и содержание в них разбухающих слоев. По мере погружения пород на дифрактограммах более отчетливо проявляется рефлекс дискретного иллита, однако совершенство его структуры ухудшается (увеличение K_b). Анализ полученных дифрактограмм позволяет сделать вывод о иллитизации смектитовых пакетов и частичной деградации аллотигенных иллитов. Более дисперсные иллиты связаны с первым из этих процессов. Интенсивность иллитизации смектита увеличивается с глубиной погружения. В верхней части разреза преобладает процесс смектитизации ССМ.

В результате рентгенодифрактометрического изучения образцов пород и глинистых фракций установлен характер распределения глинистых минералов, изменения совершенства структуры и политипных модификаций, уровня АДК по разрезу нефтепродуктивных отложений ряда площадей. Характерны типичные профили с увеличением содержания ССМ по мере погружения пород, часто проявляется цикличность чередования пластов в пределах пачки с выделением смектитовых прослоев в подстилающих горизонтах, присутствуют разрезы с преобладанием СМ в центральной части профиля. В этих случаях на профиль распределения накладывается, вероятно, влияние изменения содержания смектита в первичном осадке в соответствии с условиями седиментации и палеообстановки. Минералогические пороги в профилях распределения связаны с резким изменением скорости осаднения (период тектонической нестабильности). Большая мощность отложений и широкая распространенность минералов ХИССМ- ассоциации является признаком их обломочной природы. Характерные дифрактограммы пород подобного состава приведены на рисунке 1.

Закономерное изменение характера структурного состояния минералов с глубиной погружения связано с активизацией процессов диагенеза. Структуры с низким совершенством характерны для зон развития интенсивной мелкой трещиноватости и разрывных нарушений различного порядка. Более окристаллизованные разности и упорядоченные политипы возникают в резуль-

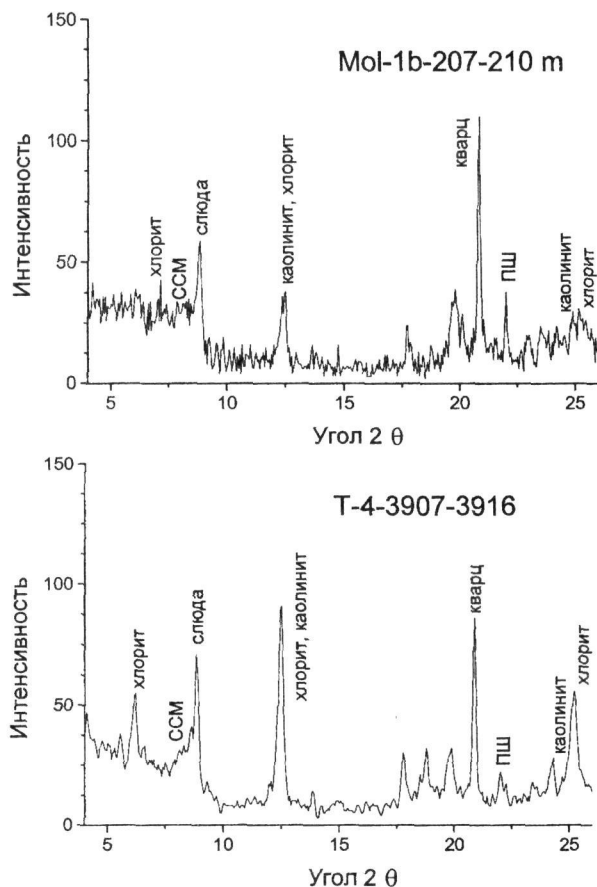


Рис. 1. Дифрактограммы образцов с ХИССМ- ассоциацией

тате аутигенного минералообразования в условиях больших глубин погружения в областях с пониженным теплообменом и температурным градиентом. Присутствие разупорядоченных ССМ с содержанием более 50 % смектитовых слоев является индикатором незначительного диагенетического преобразования пород.

Проведенные исследования показали, что изученные подсолевые отложения верхнего палеозоя Прикаспийской впадины не претерпели глубоких диагенетических изменений, приводящих к ухудшению пористости, проницаемости и коллекторских свойств пород. Анализ структурного состояния глинистых минералов последовательных гранулометрических фракций (алевритовой и пелитовой размерности) проясняет роль и направленность процессов диагенеза в конкретных разрезах. Статистическая обработка результатов, полученных для большого количества образцов различных литолого-фациальных зон ряда площадей позволила сформулировать принципы обоснованной интерпретации рентгенодифракто-

метрических данных при изучении минерального состава и глубинного диагенеза отложений, перспективных на нефть и газ.

Отличительной особенностью используемых нами комплексов современных физико-химических методов исследования является то, что объекты исследования не подвергаются деструкции, многие из них являются экспрессными. Например, с помощью метода ЭПР можно получить дополнительную, а иногда и единственную возможную информацию при решении петрографических задач [1-5].

На рисунке 2а представлен ЭПР спектр глинистой породы месторождения Онгар, взятой с глубины 655-660 м из скважины 6. Такой спектр характерен для глинистых пород многих месторождений исследуемого региона. Как видно из рисунка 2а, параметры анизотропного сигнала $g_{\parallel} = 2,049$ и $g_{\perp} = 2,008$ близки к таковым для так называемых «А – центров» каолинита [6].

Наблюдаемый анизотропный сигнал полностью совпадает с сигналом (рисунок 2б) от стандартного минерала каолинита Ново-Алексеевского месторождения.

Сравнение данных о содержании каолинита в исследуемых породах, полученных методом рентгенофазового анализа с интенсивностями анизотропного сигнала ЭПР от каолинита показывает неплохую корреляцию (таблица 1). В этой связи предлагается экспресс-метод определения каолинитов в нефтяных породах, основанный на линейной зависимости между интенсивностью анизотропного сигнала (g_{\parallel} и g_{\perp}) ЭПР и содержанием каолинитов. При определении процентного содержания каолинита в породах по интенсивности сигнала с $g_{\perp} = 2,008$ необходимо учитывать вклад сигнала с изотропным g – фактором. При значительной интенсивности этого сигнала следует каолинит содержащие породы освободить от сопутствующего битума. На рисунке 2 приведены ИК- спектры глинистой породы меловых отложений из междуречья Урал-Волга и стандартного минерала каолинита Ново-Алексеевского месторождения. Их сравнение обнаруживает плохое разрешение спектра каолинита нефтеносных пород (а и б) по сравнению с эталонным каолинитом (в). Такое изменение вида спектра наблюдается в алюмосиликатах при различной степени упорядоченности кремния и алюминия [7].

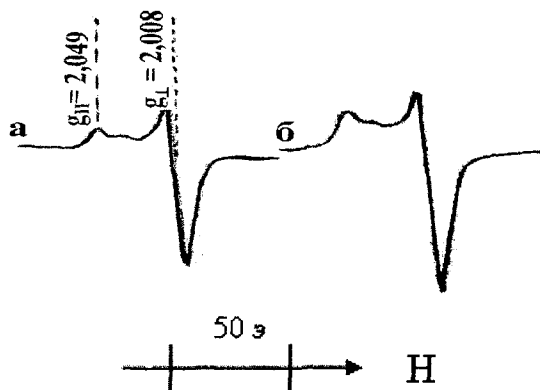


Рис. 2. Спектры ЭПР каолинитов: а – каолинит в породе месторождения Онгар, скв. 6; б – стандартный образец каолинита

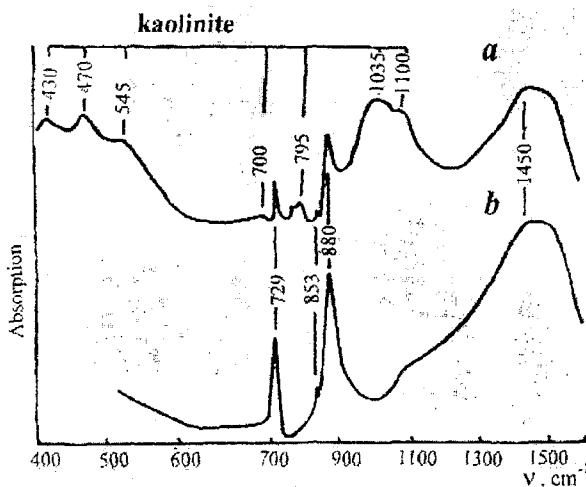


Рис. 3. ИК-спектры доломитов: а – Имашевского месторождения скв. 1 (глубина 3801-3804 м); б – стандартный образец доломита месторождения Бекбулат (содержание доломита 90%)

При упорядоченном распределении катионов и анионов полосы поглощения хорошо разделены.

В минералогических исследованиях для идентификации минералов часто используется ИК-спектроскопия [7-9]. ИК спектры некоторых нефтеносных пород, которые были исследованы с помощью метода ЭПР, приведены на рисунке 3. Здесь на полосу поглощения каолинита накладываются полосы другого минерала.

При комплексной интерпретации методов ЭПР, ИК-спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии было установлено, что дополнительные полосы в ИК-спектре (рис. 3а) относятся к кальцитовым минералам исследуемой породы.

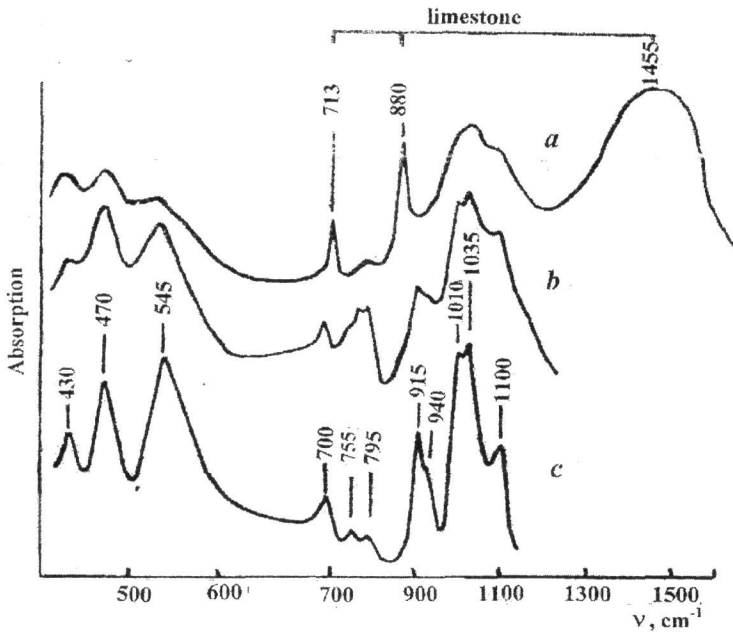


Рис. 4. ИК-спектры некоторых нефтеносных пород (a, b – соответственно скв. 3, 219-224 м, Южно-Камышитовое, скв. 2, 476-481 м, месторождение Сазанкурак) и стандартного каолинита (c)

Таблица 1. Результаты определения каолинита и кальцита в породах Прикаспийского региона

| Месторождение, номер скважины | Интервал отбора, м | Содержание каолинита и кальцита, % | |
|--|--------------------|------------------------------------|--------|
| | | по рентгенофазовому анализу | по ЭПР |
| <i>Каолинит</i> | | | |
| Эталонный каолинит (Ново-Алексеевское) | | 100 | 100 |
| Онгар, 6 | 655-660 | 6,5 | 18 |
| Кемерколь, 8 | 915-920 | 28,7 | 28 |
| Молдабек, 16 | 418-420 | 9,5 | 11 |
| Сазансурак, 2 | 430-434 | 40,1 | 40 |
| Сазанкурак, 7 | 439-449 | 12,4 | 13 |
| <i>Кальцит</i> | | | |
| Южно-Камышитовое, 3 | 219-224 | 50,3 | 52 |
| Южно-Камышитовое, 3 | 181-186 | 90,0 | 90 |
| Южно-Камышитовое, 3 | 152-158 | 10,7 | 11 |
| Сазанкурак, 2 | 430-434 | 2,4 | 2,6 |
| Онгар, 6 | 655-660 | Отс. | Отс. |
| Кемерколь, 8 | 915-920 | Отс. | Отс. |
| Кожа, 1 | 1075-1080 | 0,5 | 0,05 |

В подобных случаях методом ИК-спектроскопии не представляется возможным охарактеризовать все полосы поглощения, которые наблюдаются от основных минералов входящих в состав изучаемой породы. Эти задачи решаются при комплексном применении методов ЭПР, ИК-спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии [10, 11].

ИК-спектр доломитовой породы Имашевского месторождения (рис. 3) приведен в соответствии с методом ЭПР. Для более точного отне-

сения полос к минералу доломит этот спектр сравнивался со спектром доломитовой породы месторождения Бекбулат (содержание доломита в этой породе составляет 98%). При сопоставлении расположения полос этого образца и исследуемой породы Имашевского месторождения были установлены полосы доломита и каолинита.

Таким образом, использование комплекса физических методов позволяет более надежно

изучать природные ассоциации минералов, входящих в состав горных пород-коллекторов. Форма и размер частиц, структура, состав и генезис глинистых минералов, их тип, распределение и преобразования в пределах продуктивных горизонтов влияют на коллекторские свойства и определяют качество пород-резервуаров.

Геолого-геохимическая и петрофизическая информация, полученная при помощи этих методов, изучение распространенности и свойств глинистых минералов на этапах последовательного изменения осадочных пород, контроль вариации минеральных ассоциаций, физической и минералогической модификации глин последовательных пачек терригенной толщи приобретают важное практическое значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Насиров Р., Слюсарев А. П., Азербайев Н. А. Исследование методом ЭПР карбонатных минералов нефтяных пород // Комплексное исследование минерального сырья. – 1996. – №3. – С. 76-79.
2. Насиров Р.Н., Белинский Б.И., Берберова Н.Т. и др. Изучение минерального состава нефтеносных пород методом ЭПР // Нефтяное хозяйство. – 1998. – №4. – С. 8-9.
3. Слюсарев А.П., Жуков Н.М., Герцен Л.Е. Зональные преобразования глинистых минералов в коре выветривания медно-порфирового месторождения Бозшаколь // Геология Казахстана. – 1996. – № 5. – С. 68–74.
4. Слюсарев А.П. Состав и изменение глинистых минералов в терригенных толщах подсолевых отложений Прикаспия по данным рентгеновской дифрактометрии // Геология Казахстана. – 2002. – № 3. – С. 64–71.
5. Бершов Л.В., Гинзбург А.И. Магнитная спектроскопия при геолого-разведочных работах // Геология рудных месторождений. – 1981. – Т.23. – №1. – С. 11-16.
6. Муравьев П.П., Букин И.И. и др. Изучение геологического разреза в процессе бурения скважин методом ЭПР-спектроскопии // Труды ВНИИнефтепромгеофизики. – Уфа, 1989. – Вып.19. – С.28-35.
7. Meads R.E. and Malden P.J. Electron spin resonance in natural kaolinites containing Fe^{3+} and other transition metal ions // Clay Minerals. – 1975. – №10. – P. 313-345.
8. Ikeya M. New Applications of Electron Spin Resonance (Dating, Dosimetry and Microscopy) // World Scientific. – Singapore, 1993. – 500 p.
9. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры минералов. – М.: Изд. МГУ.- 1977. – 174 с.
10. Методика и результаты изучения минералогии глин продуктивных отложений Западно-Сибирской низменности в связи с их нефтегазоносностью. Тр. ЗапСиб НИГНИ, вып. 35, Тюмень, 1970. – 313 с.
11. Слюсарев А.П., Саматов И.Б. Изучение корренситоподобных смешанослойных образований кор выветривания // Доклады НАН РК. – 1994. – № 4. – С. 35–39.