

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ АНДРЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Губин Сергей Алексеевич

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в городе Перми

Введение

В 2013 г. Центром исследования керна и пластовых флюидов (ЦИКиПФ) филиала «ПермНИПИнефть» и кафедрой минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ) были проведены работы по определению вещественного состава карбонатных отложений верхнего отдела девонской системы. С помощью метода порошковой рентгеновской дифракции изучены 8 образцов горных пород, извлеченных из скважины, расположенной в пределах Андреевского месторождения Пермского края. Всего исследованиями охвачен интервал разреза от 2416,35 до 2454,50 м.

Объект исследований располагается на восточной окраине Восточно-Европейской платформы и минерагенически относится к Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. В основании территории располагается архей-протерозойский кристаллический фундамент, перекрытый рифей-вендскими терригенными отложениями, и с перерывом залегающими выше карбонатными и терригенными толщами палеозоя. В структурно-тектоническом отношении Андреевское месторождение находится в осевой части Камско-Кинельской системы прогибов вблизи границы с внутренней прибортовой зоной [3, 5].

Актуальность, цели и задачи работы

Важность изучения фазового (минерального) состава пород-коллекторов углеводородного сырья определяется двумя аспектами. Во-первых, данные о компонентах, составляющих скелет породы, несут в себе информацию о палеогеографической обстановке соответствующего времени и об условиях осадконакопления изучаемых отложений [2]. Такие знания необходимы при выполнении литолого-фациального анализа. Во-вторых, при проведении мероприятий по разработке месторождения особую значимость приобретают исследования глинистой составляющей, компонентами которой служат разбухающие и неразбухающие минеральные виды. Доля их участия в формировании тонкодисперсной части породы-коллектора влияет на фильтрационно-емкостные свойства [4].

Целью данной работы является изучение вещественного состава карбонатных пород доманиковой толщи верхнего девона. При этом методический подход должен обеспечивать наиболее широкий диапазон информации, получение которой возможно с помощью рентгеноструктурного анализа и современных технологий интерпретации дифрактограмм.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- 1) литологическое изучение пород-коллекторов по керну;
- 2) разработка методики исследовательских работ, отвечающей требованиям полноты информации, снижения временных и материальных затрат;
- 3) Анализ и систематизация полученной информации.

Краткая литологическая характеристика пород

В разрезе скважины, пробуренной на Андреевском месторождении, выделяется 7 литологических слоев. Из нижнего, первого слоя, было отобрано два образца (глубина 2416,35 и 2417,00 м). Порода представлена серыми, комковатыми известняками с прослоями доломитов темно-серых, тонкозернистых, известковистых. Один образец отобран на глубине 2449,90 м и характеризует четвертый слой, представленный коричневато-серыми известняками, с трещинами, выполненными кальцитом. Карбонатные отложения здесь перемежаются с зеленовато-серыми, известковистыми аргиллитами. Из пятого слоя толщиной 3,7 м отобрано три образца. Отложения на данном интервале представлены серыми, тонкозернистыми, плотными известняками с неравномерной примесью глинистого материала. Наблюдаются мелкие вкрапления пирита. Из данного слоя были взяты пробы различных литотипов пород. Пробы с глубины 2450,20 и 2451,10 м относятся к участкам керна, обогащенным терригенным материалом. Образец 2453,15 характеризует плотную, преимущественно карбонатную часть данного слоя. Отложения зеленовато-серых, известковистых, плитчатых аргиллитов, слагающих шестой слой опробованы двумя образцами на глубине 2453,75 и 2454,50 м.

Методика исследовательских работ

В данных изысканиях апробировалась методика изучения минерального состава карбонатных пород, применение которой стало возможно во многом благодаря использованию специального программного обеспечения, предоставленного ПГНИУ.

Для изучения кристаллических компонентов пород ЦИКиПФ были предоставлены 8 образцов. Отбор производился непосредственно из керна, не подвергнувшегося экстракции. Пробы извлекались либо из раздробленных частей цилиндра, либо выпиливались из плотных его участков. После сушки при естественных условиях производилось дробление и истирание материала в агатовой ступке до получения однородного порошка. После этого, полученные навески помещались в специальные кюветы, запрессовывались ручным приспособлением для получения гладкой поверхности и анализировались на дифрактометре D2 PHASER фирмы Bruker (Германия). В приборе реализована геометрия гониометра Брегга-Брентано и установлена рентгеновская трубка с медным анодом. В

результате, для каждого образца была получена дифрактограмма в диапазоне углов от 65 до 70-75°. Интерпретация кривых выполнялась с помощью программы Topas 4-2, в которой реализована методика безэталонного количественного анализа методом Ритвельда. Данный метод основан на математическом моделировании дифракционных эффектов, в зависимости от всех возможных факторов, оказывающих влияние на отражение рентгеновских лучей. Основными среди этих факторов являются следующие:

- 1) структура кристалла и тип слагающих ее атомов;
- 2) профиль эмиссии рентгеновской трубки;
- 3) параметры прибора;
- 4) текстурные особенности образца и др.

Диагностика минеральных компонентов осложнена несколькими обстоятельствами. Во-первых, многофазность карбонатных пород. Несмотря на кажущуюся простоту состава карбонатных отложений, состав их крайне разнообразный. Список минералов, слагающих эвапориты, насчитывает более 15 видов. Большое количество (более 5) исследуемых фаз приводит к невозможности достоверной диагностики некоторых компонентов, в основном аксессуарных, и затруднению расчета их содержания в горной породе. Однако опыт предыдущих литолого-петрографических и рентгеноструктурных исследований позволяет выделить комплекс минералов, нахождение которых в многокомпонентной системе наиболее вероятно.

Во-вторых, наличие глинистых минералов. Безусловно, для выполнения максимально точных анализов и, тем более, количественного определения пелитовой составляющей необходимо проведение длительной пробоподготовки, нацеленной на сокращение участвующих в расчете кристаллических фаз и повышение интенсивностей характерных отражений. Глинистую часть, в отношении ее диагностики, можно разделить на две части: минералы с упорядоченной структурой (иллит, каолинит, хлорит) и смешанослойные образования. Проблема их определения заключается в том, что их базальные отражения располагаются в области малых углов (от 1 до 14°) с неизбежным наложением друг на друга. Так, отражение каолинита от сетки (001) соответствует межплоскостному расстоянию (d) 0,715-0,720 нм, а для хлорита подобный дифракционный максимум, соответствующий плоскости (002) находится в диапазоне d=0,710-0,715 нм. Аналогичная ситуация наблюдается для смешанослойных образований и гидрослюда, базальные отражения которых располагаются в углах, соответствующих d≈1 нм.

Смешанослойные образования обладают еще одним осложняющим свойством – для них не характерен дальний порядок кристаллической структуры, то есть чередование слоев не является закономерным и повторяющимся в одномерном пространстве. Это влечет за собой получение дифракционных картин, не характерных для упорядоченных кристаллических структур [1].

Результаты исследований

По результатам исследований набор минералов слагающих карбонатные породы объединен автором в четыре комплекса: породообразующий, постоянный аксессуарный, аксессуарный и глинистый комплекс (табл.).

Таблица

Минеральный состав карбонатных отложений доманиковского горизонта верхнего девона

Глубина, м	Содержание минеральной фазы, масс. %								
	Породообразующий комплекс			Глинистый комплекс		Пост. аксессуарный	Аксессуарный комплекс		
	Кальцит	Доломит	Кварц	ССО+ГС	Хл+Каол		Плаг.	Анг.	Гипс
2416,35	19,69	62,63	4,60	7,33	4,60	1,16			
2417,00	12,23	72,03	2,47	6,70	1,41	0,92	1,91		2,35
2449,90	56,35	1,04	13,93	18,57	5,81	0,88			3,43
2450,20	53,35	1,88	17,88	22,77		1,44	2,41	0,27	
2451,10	89,50	0,48	9,45			0,57			
2453,15	43,38	5,99	17,91	14,08	14,34	1,89		1,24	1,18
2453,75	49,50	6,14	17,64	10,93	14,89	0,91			
2454,50	0,58		25,48	49,21	22,25	1,05			1,43

Примечание: ССО+ГС – смешанослойные образования и гидрослюда, Хл+Кол – хлорит и каолинит, Плаг. – плагиоклазы, Анг. – ангидрит.

Породообразующими для данного разреза являются три минерала: кальцит, доломит и кварц. Их объединение в одну группу обусловлено постоянным присутствием, преобладающим содержанием и необходимым литогенетическим нахождением в породе.

Кальцит. Достоверно диагностируется в исследуемых отложениях, поскольку его нахождение даже в терригенных прослоях карбонатного разреза возможно с высокой степенью вероятности. Так же, в силу высоких содержаний карбоната кальция в отложениях, его дифракционные эффекты четко выражены на рентгенограмме. В некоторых образцах установлено небольшое содержание (около 1%) близкого по структуре магнезиального кальцита, который отличается лишь немного сокращенными параметрами элементарной ячейки вследствие изоморфного замещения Са на Mg.

Доломит. Диагностика минерала является достоверной по тем же причинам, что и кальцита. Установлен во всех пробах, кроме 2454,50, которая, судя по минеральному составу, отобрана из явно терригенного прослоя. Содержание его колеблется в широких пределах от долей процента до почти 63%. При этом содержание его резко увеличивается в верхней части разреза.

Кварц. Достоверность качественного и количественного определения кварца в породе объясняется обособленным положением отражений, которые не перекрываются таковыми от структур других минералов. Вероятно, кварц имеет в разрезе как аллотигенную (в терригенных пропластках), так и аутигенную (в карбонатных толщах) природу.

В постоянный акцессорный комплекс включен только пирит, количество которого в отложениях мало и стабильно. Типичный аутигенный минерал карбонатных разрезов, присутствие которого обусловлено мобилизацией и восстановлением Fe^{+2} в присутствии органического вещества. Диагностика осложнена малыми его содержаниями, но возможна благодаря обособленному положению дифракционных максимумов.

Акцессорный комплекс представлен плагиоклазами, ангидритом и гипсом. Малые содержания эвапоритов объясняются низкой вероятностью их кристаллизации из растворов в тех же палеогеографических и фациальных условиях, что и карбонатов [6]. Это обстоятельство осложняет их диагностику в общей массе вещества.

Комплекс глинистых минералов. В данную группу объединены смешанослойные образования (иллит-монтмориллонит), иллит, каолинит, хлорит. Объединение данных видов в одну группу обусловлено методическим подходом к их определению, который осуществляется в настоящее время во многих лабораториях и заключается в отдельном от остальной части породы определении. На настоящем этапе работ о минералогическом составе можно утверждать лишь качественно, с определенной долей вероятности. Надежно диагностируется совместное нахождение смешанослойных структур с гидрослюдой и каолинита с хлоритом. Также возможно ориентировочное определение их количественного содержания в образце.

Решение проблемы качественного и количественного определения глинистой фракции в породе заключается, по мнению автора, в накоплении опыта минералогических исследований по Пермскому региону и по различным стратиграфическим подразделениям. Наличие обширного материала позволит выделить наиболее типичные для различных нефтегазоносных объектов глинистые минералы. Также необходимо уточнение структур отдельных минеральных видов, поскольку их элементный состав изменчив за счет замещения атомов в тетраэдрических, октаэдрических позициях и межплоскостном пространстве. Это в свою очередь приводит к изменению параметров кристаллической решетки и отражается на дифракционной картине.

Выводы

В результате проведенных работ сделаны следующие выводы.

Методика определения минералогического состава методом порошковой дифракции показала себя работоспособной. Ее применение в цикле исследований кернa представляется как начальный этап определения компонентов породы-коллектора. При этом предлагается использовать ее для определения такого показателя как карбонатность, который показывает соотношение в породе кальцита, доломита и нерастворимого остатка. На начальном этапе изучения кернa с помощью данной методики можно выделять интервалы глубин, порода в пределах которых нуждается в детальном исследовании вещественного состава. Так, например, для Пермского края высоким значением глинистости, способным повлиять на работу коллектора, считается количество равное 10-12%. Такие содержания слоистых силикатов отчетливо наблюдаются на дифрактометрических кривых.

С помощью рентгеноструктурного анализа было установлено, что центральная часть разреза скважины представлена в основном известняками в разной степени глинистыми, содержания доломита при этом незначительные. Нижняя часть разреза характеризуется наличием терригенных прослоев, практически не содержащих карбонатов. В верхней части разреза двумя образцами установлены известковистые доломиты (см. табл.).

Литература:

1. Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурный анализ смешанослойных минералов. Труды ГИН, вып. 295. М.: Наука, 1976. 256с.
2. Котельников Д.Д., Конюхов А.И. Глинистые минералы осадочных пород. М.: Недра, 1986. 247с.
3. Михайлов Д.Г., Морошкин А.Н., Плотников А.В. Развитие тектонического картирования Пермского края в связи с прогнозом нефтегазоносности // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2012. Вып. 4. Т.7.

4. Михайлов Н.Н. Изменение физических свойств горных пород в околоскважинных зонах. М.: Недра, 1987.
5. Проворов В.М. Тектоника платформенной части // Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края: Энциклопедия. Пермь: Изд-во «Книжная площадь», 2006. С. 63-74.
6. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Том 1. Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли. Москва, Издательство АН СССР, 1960. 212 с.