

Результаты внедрения компанией АО “НИПИнефтегаз” метода рентгеновской дифракции на современном аппаратно-программном комплексе российского производства для решения различных задач нефтегазодобычи на месторождениях РК

Герштанский И.О., Саенко О.Б., Лозовая С.В., Саенко А.Е.

(АО “НИПИнефтегаз”)

Иванова Т.И., Маслов В.Н.

(АО ИЦ “Буревестник”, г.Санкт-Петербург, РФ)

▶ На нефтяных месторождениях Казахстана преобладает технология заводнения (85%), при которой для поддержания пластового давления и вытеснения нефти из продуктивного пласта в качестве рабочего агента используется вода.

Это обусловлено доступностью воды, простотой и экологичностью реализации технологического процесса. К недостаткам можно отнести относительно невысокий конечный коэффициент нефтеотдачи (КИН) и интенсивные темпы роста обводненности добываемой продукции до предела рентабельности разработки.

Основным источником воды является попутнодобываемая, выделяемая из добываемой нефти в процессе ее подготовки до товарного качества. Для обеспечения требуемых объемов закачки также используются воды других доступных источников: водоносные горизонты, морская вода, сточные воды, соседних месторождений.

Требование к качеству рабочего агента регламентируется нормативным документом СТ РК 1662-2007 (Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству). Однако не всегда и не в полной мере уделяется должное внимание качеству подготовки вод, закачиваемых в пласт, их совместности с пластовыми водами и влиянию этих вод на породу-коллектор.

Наличие в рабочем агенте нефтепродуктов, механических примесей, образование солей в процессе смешения несовместимых вод приводит к кальматации, что существенно влияет на фильтрационно-

емкостные свойства (ФЕС) продуктивного пласта и ухудшает процесс вытеснения нефти. Другой причиной ухудшения ФЕС в процессе разбухания и эксплуатации нефтяного месторождения является присутствие в составе горной породы продуктивного пласта глин.

Глина состоит из одной или нескольких групп минералов, принадлежащих к слоистым алюмосиликатам, среди которых наиболее распространены группы каолинита, гидрослюд, монтмориллонита и хлорита, и их смешанослойные образования, может также содержать песчаные и карбонатные частицы. Использование пресных или слабоминерализованных вод при заводнении пласта может привести к разбуханию глинистых частиц и закупориванию пор коллектора, что в совокупности может ухудшить приемистость нагнетательной скважины, вплоть до ее потери.

Соответствие качества рабочего агента требованиям нормативных документов (СТ РК 1662-2007) решается организацией современной системы подготовки воды в наземных условиях промысла. Присутствие в породах глин, склонных к набуханию, требует отдельного изучения на стадии составления проекта разработки нефтяных месторождений и проработке вопроса об источнике закачиваемой воды.

Целью данной статьи является демонстрация возможностей научно-исследовательской базы АО “НИПИнефтегаз” для анализа минералогического состава нефтегазоносных пород, в том числе их глинистой составляющей, при решении насущных технологических задач нефтедобычи.

► **Описание экспериментальных исследований**

В 2012-2014гг. в компании АО "НИПИ-нефтегаз" были проведены лабораторные работы по изучению совместимости пластовых и закачиваемых вод с породой-коллектором, содержащей глинистые включения, для ряда месторождений Мангистауской области.

Исследования проводились на современном специализированном оборудовании компании VINCI Technologies RPS-700, предназначенном для определения проницаемости пород для различных сред при пластовых условиях в широком диапазоне давления (до 70 МПа) и температур (до 200°C).

Результаты исследований показали, что изменение проницаемости на образцах кер-

на при воздействии воды напрямую зависит от глинистости образца. Так, уже при увеличении глинистости в образцах керна всего на несколько процентов наблюдалось резкое ухудшение ФЕС. На практике в таких случаях для повышения минерализации воды в составе буровых растворов или рабочего агента для системы ППД широко применяется хлорид калия. Для определения оптимальной концентрации хлорида калия были проведены специальные лабораторные исследования по изучению изменения ФЕС при фильтрации через образец с заданной глинистостью сеноманской воды с различным содержанием KCl (6%, 4%, 2%). Исходная проницаемость образца по пластовой воде составила $86,88 \cdot 10^{-3} \text{мкм}^2$.

Результаты представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

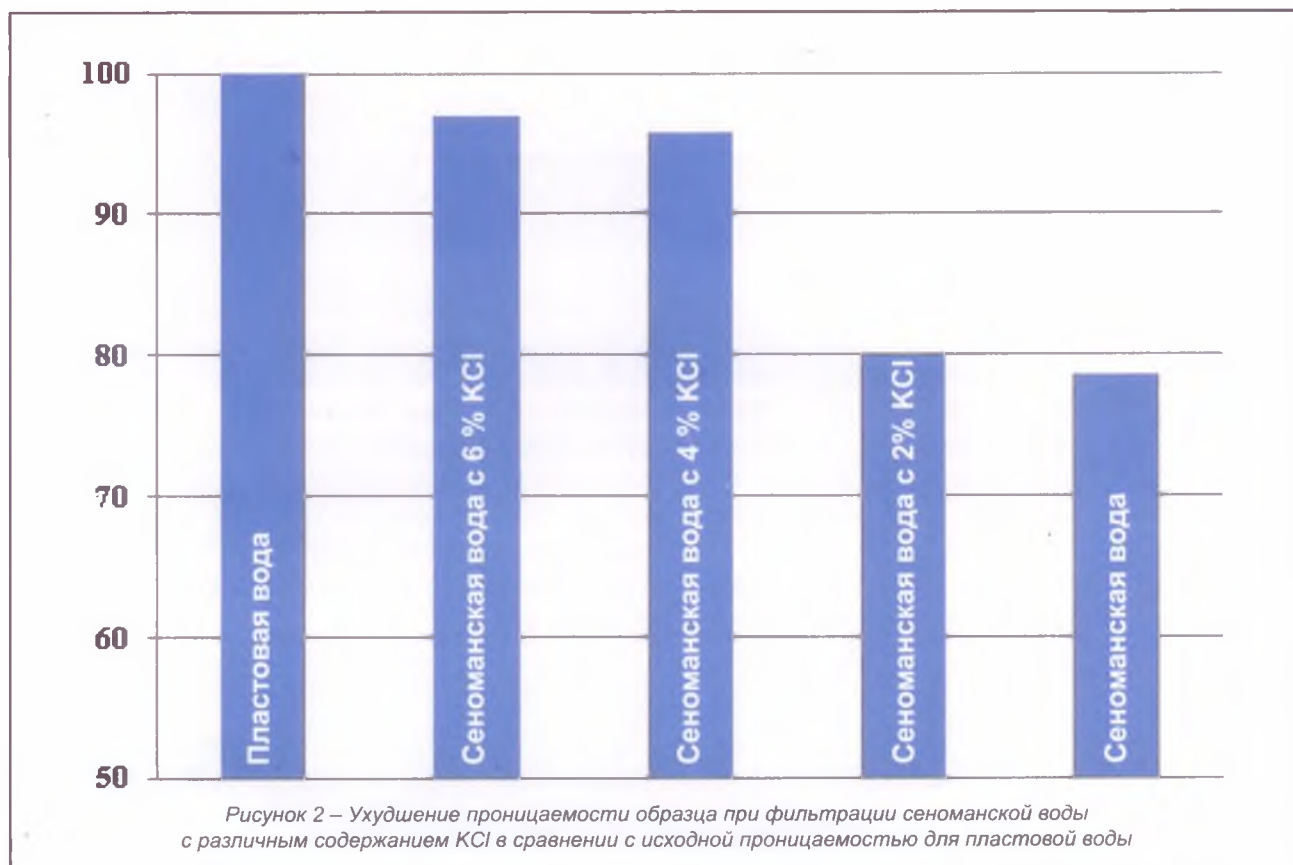


Рисунок 1 - Установка RPS-700 компании Vinci Technologies, Франция

Таблица 1

Изменение проницаемости образца керна с глинистой составляющей 22,53% при фильтрации сеноманской воды с различным содержанием KCl

Тип закачиваемой воды	Проницаемость, $\cdot 10^{-3} \text{мкм}^2$	Ухудшение проницаемости, %
Сеноманская вода с 6% KCl	84,16	3,1
Сеноманская вода с 4% KCl	83,12	4,3
Сеноманская вода с 2% KCl	69,40	20,1
Сеноманская вода	68,27	21,4



► Анализ полученных результатов показал, что при фильтрации сеноманской воды с низкими значениями концентрации KCl (2% и 0%) наблюдается заметное ухудшение проницаемости (на 20,1% и 21,4% соответственно). При увеличении концентрации KCl до 4% и 6% снижение проницаемости составляет 4,3% и 3,1% соответственно, что говорит о незначительном влиянии рабочего агента на коллекторские свойства данного образца керна.

Следует отметить, что для прогнозирования возможных осложнений при бурении и эксплуатации скважин месторождения недостаточно иметь информацию об уровне глинистости, являющейся количественной оценкой присутствия в керновом материале дисперсной фракции с размером частиц менее 0,01 мм. Важное значение имеет качественная оценка, т.е. минеральный состав глинистой фракции, т.к. не все глины склонны к разбуханию. Например, каолиновые глины практически не разбухают по сравнению с монтмориллонитовыми.

Наиболее удобным, экспрессным и надежным неразрушающим методом диагностики минерального состава пород, включая высокодисперсные глинистые минера-

лы, является рентгеновская дифракция (РД). Бурное развитие приборной базы и программного обеспечения, в том числе внедрение метода Ритвельда для количественного анализа, привели к широкому использованию РД во многих областях науки и техники. В результате этот метод исследования стал основным, а в ряде случаев единственно возможным для определения минерального состава сложных геологических и техногенных объектов, включая акцессорные минералы и микропримеси.

Дифрактометр ДРОН-8

Для реализации этого метода в компании АО «НИПИнефтегаз» используется многофункциональный рентгеновский дифрактометр ДРОН-8, российского производства. АО «ИЦ «Буревестник» (дочернее предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО) – крупнейшее в СНГ предприятие по разработке и производству рентгеновской аналитической техники для промышленных и научных целей (см. рис. 3), осуществляющее также техническую и программно-методическую поддержку своего оборудования, и обеспечивающее обучение теоретическим основам рентгеновских методов анализа вещества и практическим навыкам по пробоподготовке, измерениям и проведению анализов.

▶ Персонал АО «НИПИнефтегаз» прошел двухнедельное обучение на завод-изготовителе в г. Санкт-Петербург. Высококвалифицированные специалисты АО «ИЦ «Буревестник» продолжают консультационное сопровождение по интерпретации данных, полученных на рентгеновском дифрактометре ДРОН-8.

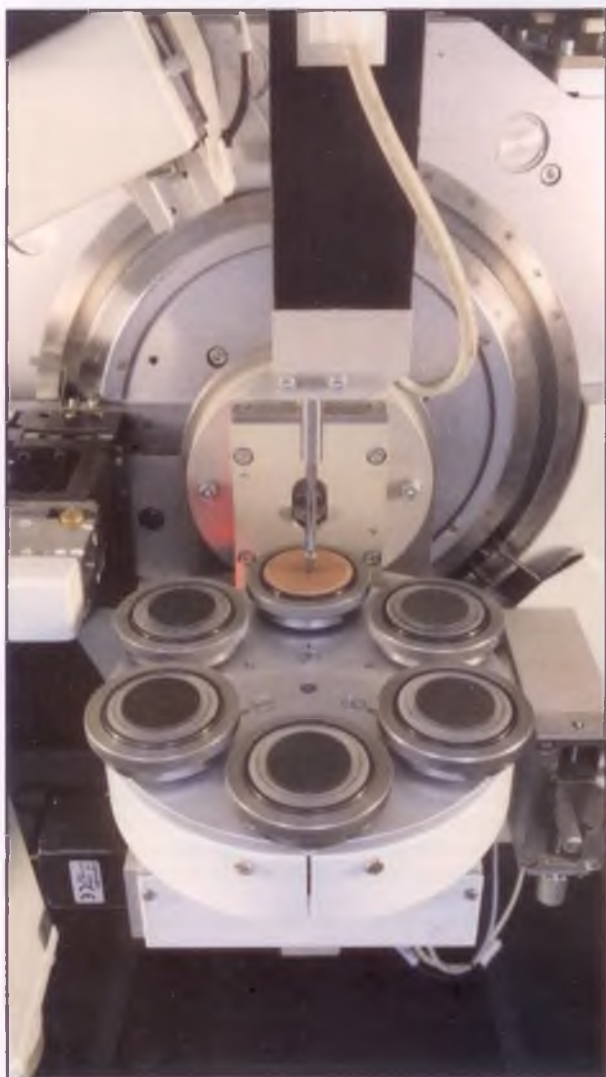


Рисунок 3 - Рентгеновский дифрактометр ДРОН-8, оснащенный автосменщиком и системой быстрой регистрации с ПЧД Mythen 2R 1D

Внедрение современного оборудования для рентгенодифракционного анализа позволяет проводить изучение минерального состава керна, в том числе глинистых фракций, более детально. Важным преимуществом прибора является его оснащение системой быстрой регистрации с позиционным-чувствительным детектором Mythen 2 R 1D с 640 независимо регистрирующими каналами, что по-

зволяет получать качественные дифрактограммы в 70 раз быстрее, чем с обычным сцинтилляционным счетчиком.

Благодаря возможностям прибора компания АО «НИПИнефтегаз» в конце 2018 г. в короткие сроки провела большую исследовательскую работу по определению состава глин одного из месторождения РК с целью прогнозирования возможных осложнений при бурении.

Минералогия глин

Изучение глинистых минералов начинают с выделения дисперсной фракции из природных или искусственных минеральных систем. Необходимо, чтобы глинистая фракция образовала устойчивую водную суспензию. Подготовленные пробы глинистой фракции представлены на рисунках 4-5.

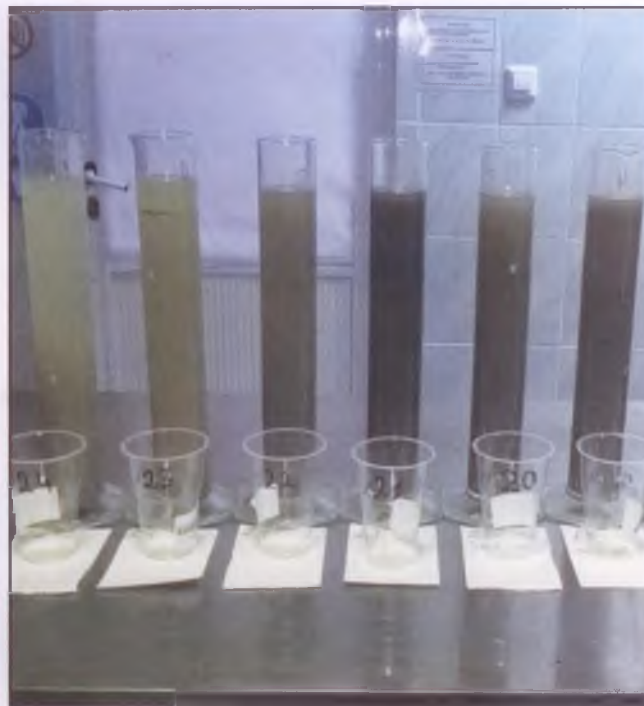


Рисунок 4 – Процесс подготовки проб глинистой фракции

Полученную водную суспензию переливают в часовое стекло, на дне которого лежит низкофоновая подложка из монокристаллического кремния с полированной поверхностью для осаждения на нее глинистой фракции, после чего осадок высушивают при комнатной температуре.

На рисунке 6 представлены рентгенограммы исходного керна и ориентированного образца выделенной глинистой фракции в су-



Рисунок 5 – Подготовленные пробы глинистой фракции

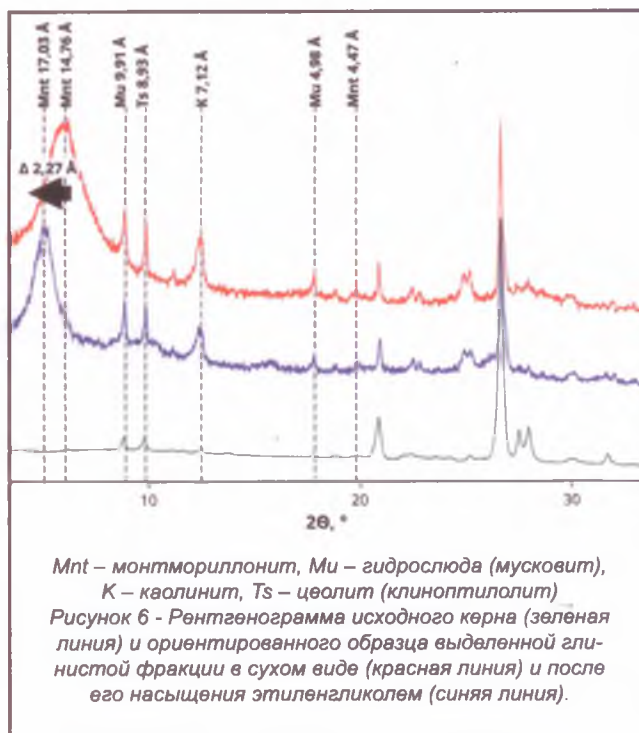
► хом виде и после его насыщения этиленгликолем (стрелкой показано смещение пика монтмориллонита в ближнюю угловую область.).

Результаты полуколичественного анализа минерального состава глинистой фракции по методике Ю.С. Дьяконова представлены в таблице 2.

На рисунке 7 проиллюстрированы сравнительные результаты количественного и качественного состава образцов керн, отобранных с разных глубин (7 а), а также в карбонатных отложениях и песчанике (7б, в).

Минералогия солеотложений

Наряду с исследованиями керн компания АО “НИПИнефтегаз” успешно применяет рентгенодифракционный анализ на современном дифрактометре ДРОН-8 для изучения минерального состава различных солеотложений.



Mnt – монтмориллонит, Mu – гидрослюда (мусковит), K – каолинит, Ts – цеолит (клиноптилолит)
 Рисунок 6 - Рентгенограмма исходного керн (зеленая линия) и ориентированного образца выделенной глинистой фракции в сухом виде (красная линия) и после его насыщения этиленгликолем (синяя линия).

Таблица 2

Полуколичественная оценка минерального состава глинистой фракции керн

№п/п	Скважина	№ пробы и уровень отбора	Минералы и их содержание (отн.%)			
			Монтмориллонит	Каолинит	Мусковит	Цеолит
11	68	68-1405, 60-№1	88	6	4	2

Для подбора эффективного метода борьбы с отложениями солей на нефтепромысловом оборудовании необходимо четко идентифицировать, отложения какого состава образуются на данном месторождении. Солевые отложения имеют сложный состав, включающий как минеральную, так и органическую часть, поэтому его изучение в химической ла-

боратории – трудоемкий и длительный процесс. Опираясь на многолетний опыт и высокую квалификацию химиков-аналитиков, в АО “НИПИнефтегаз” была разработана собственная методика исследований солеотложений, суть которой заключается в поэтапном количественном определении катионов и анионов в пробе с предварительной обработкой ее растворителями для от-

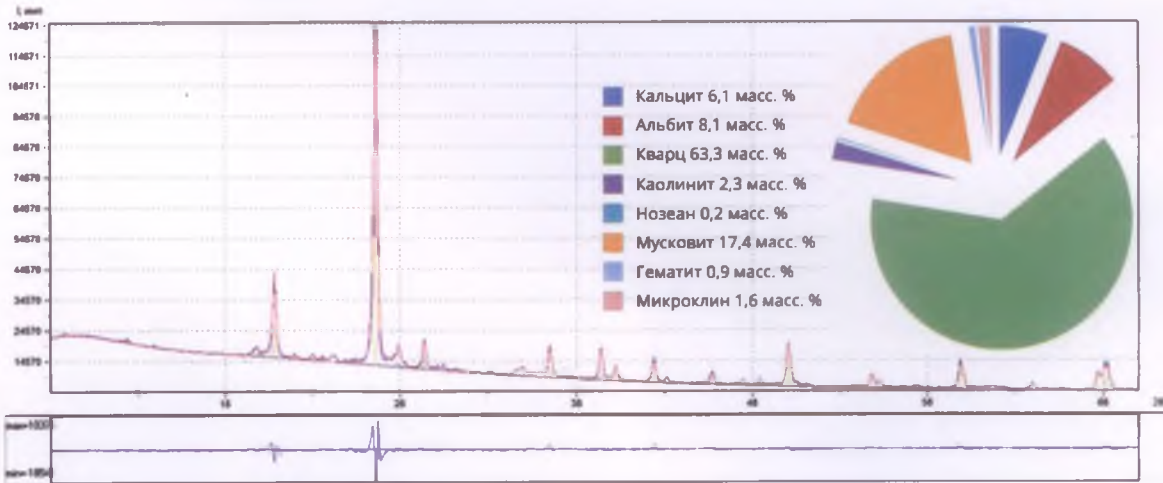
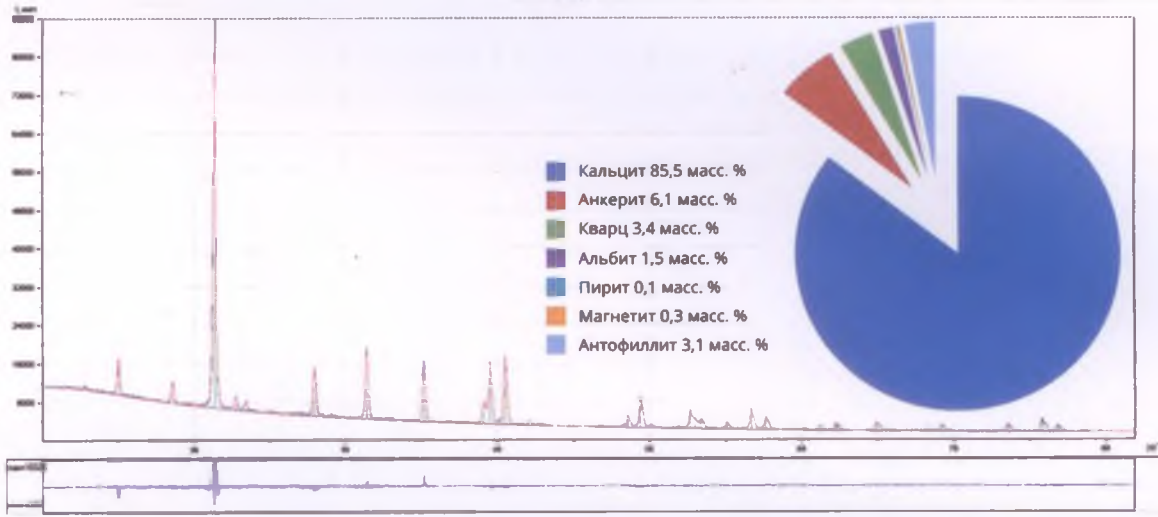
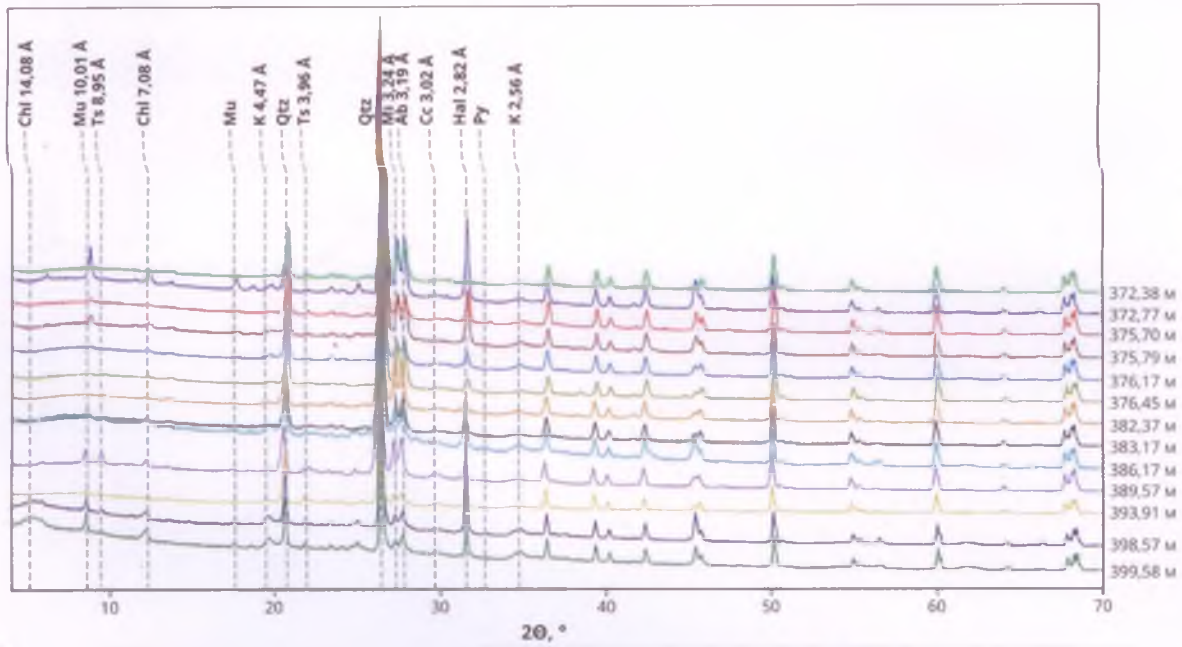
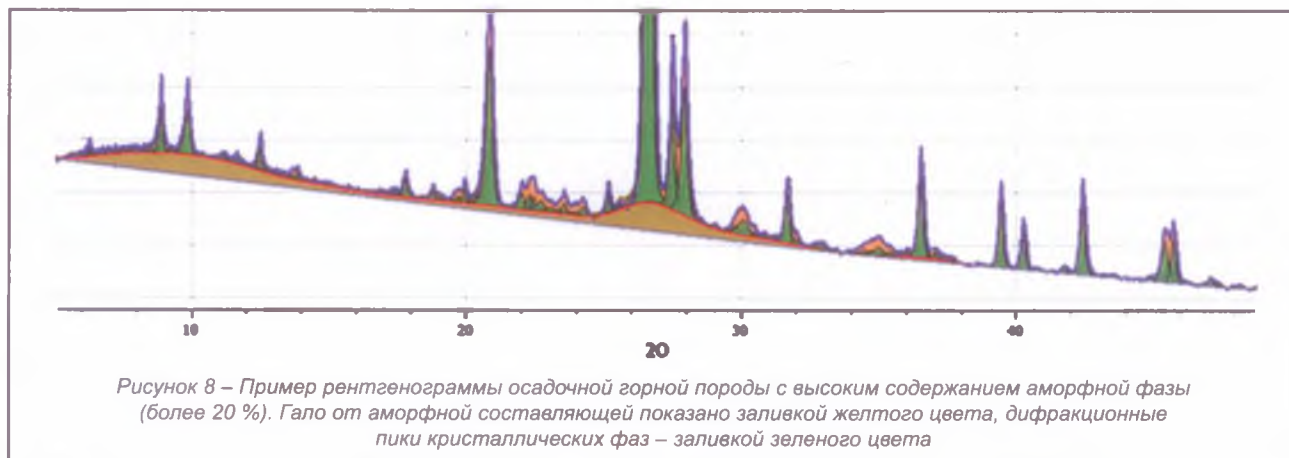


Рисунок 7 - Качественный и количественный анализ минерального состава керна по данным РД
 а - сравнение рентгенограмм керна, полученного с разных глубин скважины.
 Обозначения: Qtz - кварц; Mi - щелочной полевоы шпат (микроклин), Ab - плагиоклаз (альбит), Cc - кальцит, Hal - галит, Py - пирит, Mnt - монтмориллонит, Chl - хлорит (клинохлор), Mu - гидрослюда (мусковит), K - каолинит, Ts - цеолит (клиноптилолит).
 б, в - количественный анализ карбонатной породы и песчаника полнопрофильным методом Ритвельда



► мыва от нефтепродуктов. Неорганическую часть солеотложений, отмытую от нефтепродуктов, тестируют по сложной схеме исследования, которая всегда корректируется в зависимости от состава образца.

Внешний вид проб отложений солей с различных месторождений РК представлен на рисунке 9.

Процесс исследований по определению состава солеотложений требует большого количества реактивов и может занимать более 10 дней.

Рентгенодифракционный анализ на дифрактометре ДРОН-8, оснащенный автосменщиком образцов и позиционно чувствительным детектором, позволяет детально исследовать 6 образцов солеотложений в течение суток, обеспе-



Солеотложения с месторождения X, преобладают карбонатные соединения и соединения железа



Солеотложения с месторождения XX, преобладает сульфат бария



Солеотложения месторождения XXX, преобладают карбонатные соединения



Солеотложения месторождения XXXX, преобладают карбонатные соединения и соединения железа

Рисунок 9 – пробы отложений солей с насосного оборудования различных месторождений

Многофункциональный рентгеновский дифрактометр ДРОН-8



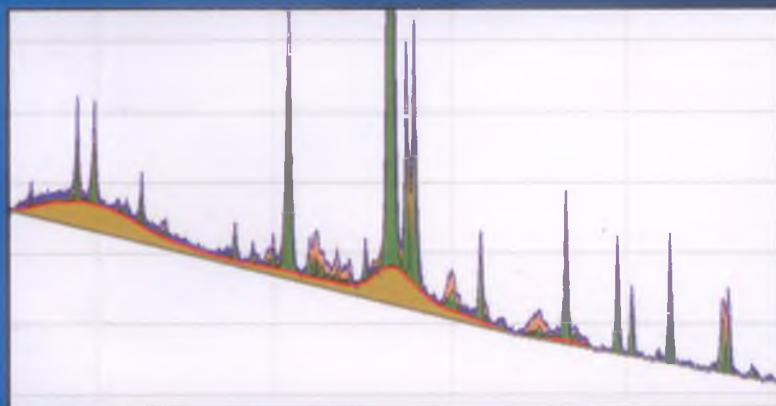
ГРУППА АПРОСА
ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР
БУРЕВЕСТНИК
ИССЛЕДОВАНИЯ + РАЗРАБОТКА + ПРОИЗВОДСТВО

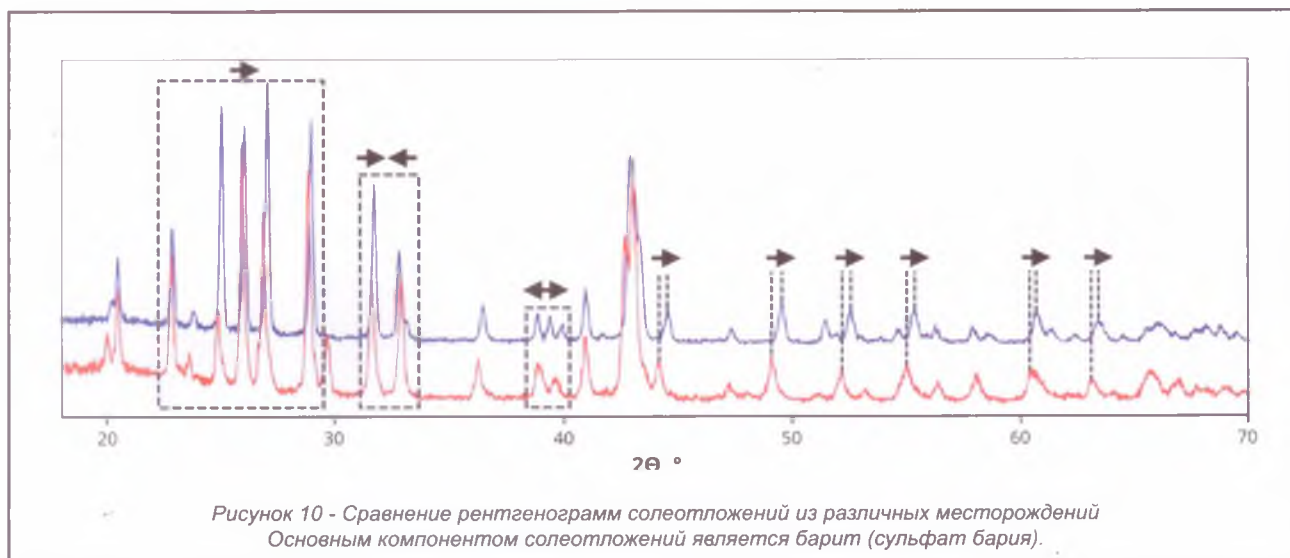


Эффективное решение качественного и количественного анализа минерального состава керна и глинистых осадков, а также техногенных продуктов (бурового шлама и солеотложений, продуктов коррозии металлов цементного камня, АСПО и др.) в нефтегазодобывающей отрасли:

- ✓ многофункциональный дифрактометр ДРОН-8
- ✓ высокоскоростной детектор
- ✓ автосменщик образцов
- ✓ база порошковых данных PDF-2 со специализированными подбазами
- ✓ готовые шаблоны для количественного анализа природных и техногенных объектов методом Ритвельда
- ✓ программы расчета структурных характеристик минералов

- ✓ Широкий круг решаемых задач
- ✓ Реализация различных методов рентгенодифракционного анализа
- ✓ Анализ объектов различной формы и размера
- ✓ Локальный анализ крупногабаритных объектов (диаметр до 300 мм, вес до 50 кг)
- ✓ Автоматическая юстировка плоскости образца
- ✓ Большой выбор держателей, приставок, рентгенооптических элементов и систем регистрации
- ✓ Русскоязычный программный комплекс для сбора и обработки данных





► чивая надежную идентификацию, полный количественный анализ минерального состава и определение структурных особенностей минералов солей

В 2018 - 2019 гг. в АО «НИПИнефтегаз» были проведены исследования по определению минералогического состава солеотложений различных месторождений РК.

На рисунке 10 представлена рентгенограмма отложений, представленных сульфатом бария. Стрелками показаны смещения пиков в дальнеугловую область, вызванные изменением метрики решетки за счет изоморфного замещения бария на 25% атомами свинца Pb и/или стронция Sr в структуре барита. Суммарная концентрация (Sr+Ba) оценена по сжатию кристаллической решетки барита на 1.5% в направлении [010].

Новые возможности для изучения керна

Освоение компанией АО «НИПИнефтегаз» современного аппаратно-программного комплекса для рентгенодифракционного анализа, включающего дифрактометр ДРОН-8 с опциями, базу порошковых данных PDF-2 и программный пакет для качественного и количественного фазового анализа, в том числе методом Ритвельда, открывает большие возможности для более глубокого и оперативного изучения керна, солеотложений, бурового шлама, цемента и цементного камня (контроль качества), продуктов коррозии металлов, органических соединений (АСПО) и позволяет на стадии проектирования разработки месторождения и его обустройства прогнозировать возможные осложнения и своевременно разрабатывать мероприятия по их предупреждению. ■

