



Посвящается добыче
200-миллионной тонны нефти
на месторождениях
ТПП «Урайнефтегаз»
ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ШАЙМСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РАЙОНА



Литолого-петрофизическая база для создания методики определения подсчетных параметров пород-коллекторов доюрского комплекса Шаимского района по данным ГИС (Западная Сибирь)

*М.Ю. Зубков (СибНИИМП)
М.Ф. Печеркин («Урайнефтегаз»)*

Введение

Промышленная нефтегазоносность кровельной части доюрского комплекса (ДК) Шаимского района установлена давно, что объясняется его близким залеганием к поверхности (всего 1750-1950 м). Поэтому он обычно вскрывается на небольшую глубину всеми разведочными и даже эксплуатационными скважинами и довольно хорошо изучен в пределах рассматриваемого района [1-5].

Углеводородные залежи установлены на Даниловском, Северо-Даниловском, Убинском, Мортимья-Тетеревском, Толумском, Мулымьинском и Потанайском месторождениях. Начальные дебиты нефти, полученные из пород ДК, варьируют в значительных пределах – от 2-5 т/сут до 100-140 т/сут [4, 5]. Несмотря на то, что в ДК существуют углеводородные залежи, из которых ведется промышленная добыча нефти, до сих пор не существует общепринятой методики выделения в нем коллекторов и оценки характера их насыщения по данным геофизических исследований скважин (ГИС). Сложность создания такой методики заключается в том, что породы ДК имеют довольно пестрый минералогический состав, обусловленный различным их происхождением: это и метаморфические сланцы различного состава и стадии метаморфизма и изверженные породы от кислого и щелочного до основного состава. Оценить емкостные свойства пород фундамента по данным ГИС на основе традиционных алгоритмов, применяемых для гранулярных пород-коллекторов, не удалось (Жиляков В.Н., Кузьмин Ю.А., 1986, трест «Красноленинскнефтегеофизика»). Нужна специальная методика выделения пород-коллекторов в составе ДК и оценка их характера насыщения. Однако, как будет показано в следующей публикации, даже в случае разработки такой методики, ее необходимо настраивать на каждый новый тип пород-коллекторов, что объясняется значительной изменчивостью их состава и петрофизических свойств.

Поэтому предлагаемая работа представляет собой первый шаг в решении проблемы выделения продуктивных интервалов в ДК Шаимского района. В ней приводятся результаты комплексных литолого-петрофизических исследований керн, отобранного из фундамента рассматриваемого района, на основании которых разработана методика выделения коллекторов в ДК Шаимского района и оценки их характера насыщения, описанию которой посвящена следующая публикация.

Методы литолого-минералогических и петрофизических исследований пород фундамента Шаимского района

Исследование вещественного состава пород, входящих в состав ДК Шаимского района, проводилось с использованием комплекса физических методов, включающих рентгено-структурный анализ (РСА), а также оптическую и электронную микроскопию. Точность определения содержания главных породообразующих минералов зависит от их содержания - чем ниже концентрация компонента, тем выше точность, с которой он определяется. В среднем погрешность определения основных породообразующих минералов составляет 3-5 мас. %.

Коллекторские свойства отобранных образцов изучались по стандартной методике [6, 7]. Открытая пористость ($K_{\text{п}}$) обычно определялась по воде, лишь сильно глинистые образцы (глинистые сланцы) исследовались с использованием керосина в качестве рабочей жидкости. Водоудерживающая способность или остаточная водонасыщенность ($K_{\text{во}}$) исследовалась с помощью центрифуги. Погрешность измерений коллекторских свойств зависит от используемых методических приемов и абсолютных значений измеряемых параметров. Обычно определение абсолютной проницаемости производилось с погрешностью не более 5-7 отн. % (при сравнении параллельных опытов), а пористость - от 5 до 10 отн. %.

Распределение естественно-радиоактивных элементов в образцах пород, отобранных из ДК исследовалось с помощью сцинтилляционной гамма-спектрометрической установки. Определялись следующие параметры: содержание калия, урана, тория и суммарная радиоактивность. Рассчитывался вклад каждого из радиоактивных элементов в общую радиоактивность, а также вычислялись отношения радиоактивных элементов друг к другу. Точность определения радиоактивных элементов и суммарной радиоактивности зависит от их концентрации в образцах и в среднем составляет около 15 отн. %.

Акустические свойства образцов исследовались методом прямого прозвучивания, при котором датчики ультразвука - излучатель и приемник звуковых импульсов - располагались на противоположных концах образца. Изучались акустические свойства как стандартных образцов (цилиндров диаметром 3 см), так и больших (полноразмерных), представленных пришлифованными с торцов кусками керна, имеющими диаметр около 8 см. При исследовании полноразмерных образцов использовался прибор УК-14П с излучаемой частотой 55 кГц, а для стандартных цилиндров - обычный прибор (АК-1) с излучаемой частотой 430-450 кГц. Изучение проводилось в условиях одноосного сжатия образца с вариацией эффективного напряжения от нуля до пластового значения. Максимальная погрешность в измерении скорости звука не превышает 1,2 абс. %.

Проведение акустических исследований с использованием приборов с различной излучаемой частотой обусловлено тем, что при геофизических исследованиях используются низкочастотные источники возбуждения сигнала, а не высокочастотные. Использование высокочастотных источников при лабораторных исследованиях вызвано тем, что стандартные образцы (цилиндры) имеют небольшие размеры и, как следствие, низкочастотный сигнал в них не фиксируется (слишком большая длина волны). Поэтому проведено сопоставление акустических характеристик одних и тех же образцов, «прозвученных» низко- и высокочастотным сигналом.

Электрические свойства образцов, отобранных из ДК, определялись по стандартной методике с использованием двухэлектродной схемы [6, 7]. Промежуточные значения водонасыщенности в образцах задавались путем их центрифугирования при различных скоростных режимах. Точность определения электрического сопротивления образцов составляет 5-7 отн. %.

Диффузионно-адсорбционная способность (Ада) образцов ДК так же исследовалась стандартным методом [7]. После завершения измерений выбиралась средняя величина Уда и по ней рассчитывался коэффициент Ада. Погрешность измерений не превышает 10 отн. %.

Всего различными видами анализов исследовано около 200 образцов керна, отобранного из 15 скважин, пробуренных в пределах Даниловского, Северо-Даниловского и Убинского месторождений.

Краткая характеристика тектонического строения и результаты литолого-минералогических исследований пород фундамента Шаимского района

Анализ накопленных к настоящему времени геолого-геофизических данных показал, что в пределах рассматриваемого района ДК имеет двухэтажное строение [1-5]. Нижний этаж - это собственно палеозойское складчатое основание, представленное породами верхнепротерозойского (рифейского), ордовикского, силурийского, девонского и каменноугольного возрастов [1-5]. Верхний, или промежуточный, называемый также тафrogenным, этаж сложен вулканогенно-осадочным комплексом предположительно пермо-триасового возраста (туринская серия) [1-5].

Самые древние породы вскрыты в осевой зоне Шаимского мегавала в пределах Западно-Муртымынской, Северо-Муртымынской, Муртымынско-Тетеревской и Южно-Тетеревской площадей.

Нижнепалеозойские образования представлены темно-серыми и серыми кварц-биотитовыми, кварц-амфиболитовыми, эпидот-биотитовыми, амфибол-кордиеритовыми, графитистыми, кварц-мусковитовыми, скрицитовыми и хлоритовыми сланцами [1-5]. Среди сланцев встречаются порфиroidы, метаконгломераты и метапесчаники.

Среднепалеозойские образования представлены вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами. В их состав входят разнообразные порфириды, которые залегают среди метапесчаников, кремнистых и филлитовых сланцев. Изредка встречаются линзы мраморизованных известняков.

Верхнепалеозойские образования встречены в пределах Муртымынской и Мульмынской площадей [1-5]. Они сложены метаморфизованными темно-серыми и зеленовато-серыми метаалевролитами, аргиллитами с прослоями метапесчаников и метаконгломератов.

Верхнепротерозойские и палеозойские образования, а также прорывающие их интрузивные породы подвергались интенсивным вторичным изменениям - наложенным гидротермальным преобразованиям, а также выветриванию. Мощностью измененных вторичными процессами пород нередко достигает первых десятков метров.

Более древние породы складчатого основания (нижний этаж) с угловым несогласием перекрываются эффузивно-осадочным комплексом пород туринс-

кой серии (верхний этаж). Они залегают в виде покровов и распространены во впадинах (тафрогенный комплекс) и по склонам современных выступов фундамента. Описываемые отложения туринской серии встречены в пределах Половинкинской, Сыморьяхской, Ловинской, Яхлинской, Шушминской, Узбекской и других площадей. Они сложены красноцветными и зеленоцветными аргиллитами, метагравелитами, туфами, сероцветными метапесчаниками с углистым детритом, чередующимися с прослоями эффузивных пород типа базальтов. Как правило, осадочные породы представлены озерно-болотно-аллювиальными отложениями с прослоями туфов. По данным спорово-пыльцевого анализа описываемые отложения имеют среднетриасовый возраст.

Таким образом, фундамент рассматриваемого района сложен двумя основными типами пород – изверженными и метаморфическими. Анализ результатов испытаний скважин показал, что продуктивными являются лишь те из них, которые вскрыли породы определенного состава. Так, среди метаморфических пород продуктивными бывают различные типы кремнистых сланцев, карбонатные отложения, метапесчаники, метаалевролиты и метагравелиты. Среди всех типов изверженных пород залежи встречены лишь в эффузивах кислого и щелочного состава. Все открытые в ДК Шаимского района углеводородные залежи приурочены к породам нижнего тектонического комплекса. Поэтому для создания методики выделения продуктивных интервалов в ДК по данным ГИС необходимо подготовить литолого-петрофизическую базу данных по небольшому классу метаморфических и изверженных пород. Самые крупные залежи нефти, содержащиеся в изверженных породах, встречены в пределах Даниловского и Северо-Даниловского месторождений, а в метаморфических породах – на Убинском месторождении, поэтому проанализированы коллекции образцов, отобранные из скважин, пробуренных в пределах именно этих месторождений.

В пределах **Убинского** месторождения продуктивными чаще всего являются два типа метаморфических пород.

Первый – это метапесчаники, предположительно верхнепалеозойского возраста. Продуктивные разновидности этих типов пород имеют светло-серый иногда почти до белого цвет, разбиты трещинами, по которым развиты бурые соединения железа (рис. 1а). Обломочная часть пород представлена зернами кварца и полевых шпатов с небольшой примесью обломков метаморфических пород. Обломочные зерна плохо отсортированы, имеют размеры от мелкоалевритовой до средне-, редко до крупнозернистой песчаной фракции. Глинистые минералы представлены серицитом и каолинитом, причем каолинит имеет явно вторичное происхождение – он заполняет трещины и микрокаверны в метапесчаниках. Цементируются обломочные зерна глинистыми минералами, а также перетолженным кремнеземом, что приводит к формированию конформно-регенерационному типу контактов между зернами, имеющими кварцевый состав. В прокрашенных смолой петрографических шлифах отмечаются эффективные (заполнившиеся бурой смолой) поры, микрокаверны и трещины (рис. 1д, е).

Второй тип коллекторов – трещинно-кавернозные разновидности кремнистых сланцев, имеющих предположительно нижнепалеозойский возраст. Породы этого типа обычно имеют серый, иногда до темно-серого, цвет. В них отмечаются кварцевые прожилки толщиной от нескольких миллиметров до первых сантиметров, в которых, в свою очередь наблюдаются трещинки и каверны

(рис. 1б). На поверхности трещин и каверн присутствуют явно вторичные новообразованные минеральные ассоциации, представленные мелкокристаллическим анкеритом (рис. 1в). Под снимком приведен элементный спектр, полученный с его площади, из которого видно, что в анкерите кроме железа и кальция присутствуют следы магния и примесь марганца. Кроме анкерита в трещинах и

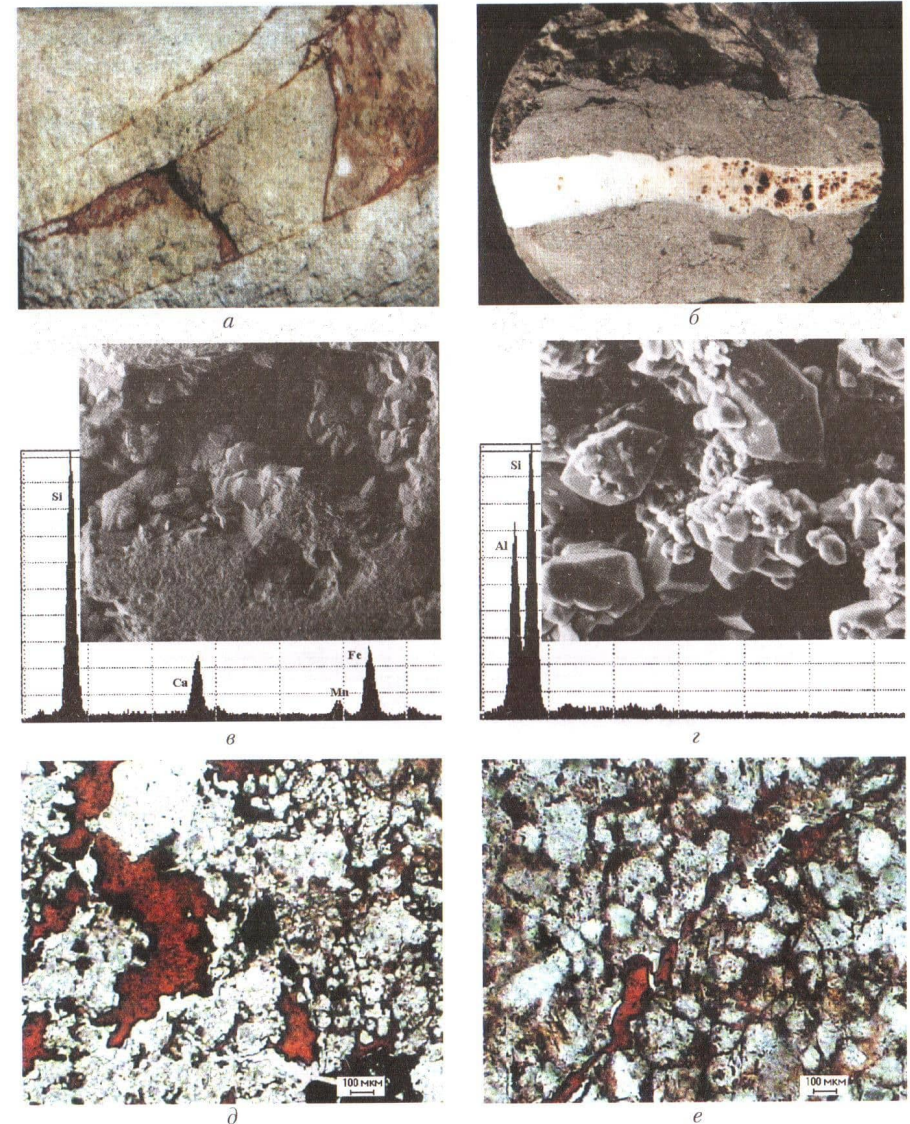


Рис. 1. Фотографии: образцов керна, уменьшено в 1.3 раза (а, б); РЭМ, увеличено в 20 (в) и 500 (г) раз; прокрашенных смолой петрографических шлифов (д, е); доюрский комплекс, Убинское месторождение (пояснения в тексте)

кавернах часто встречаются также мелкие кристаллы кварца и каолинита или диккита (рис. 1г). Под снимком приведен элементный спектр, полученный с кристаллов диккита, расположенных в центральной части снимка.

Коллекторами в ДК **Даниловского** месторождения являются светло-серые, часто с буроватым оттенком (за счет нефтенасыщения) измененные вторичными процессами (включая растворение и выщелачивание) кавернозные, реже трещиноватые эффузивы кислого и щелочного состава (рис. 2а, б). Образование вторичной емкости в них чаще всего происходит за счет растворения и

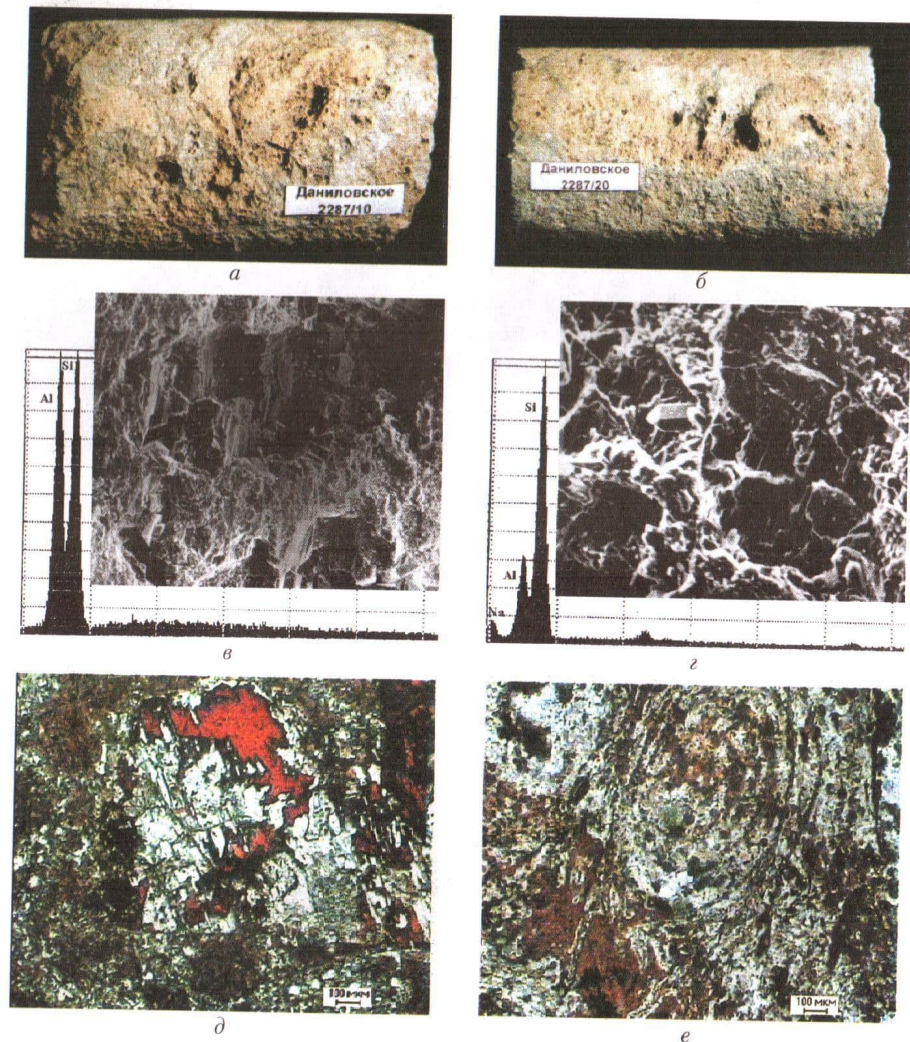


Рис. 2. Фотографии образцов керна, уменьшено в 2 раза (а, б); РЭМ, увеличено в 50 (в) и 150 (г) раз; прокрашенных петрографических шлифов (д, е); доюрский комплекс, Даниловское месторождение (пояснения в тексте)

выщелачивания крупных порфировых выделений щелочных полевых шпатов. В порых и микрокавернах отмечается также регенерация и новообразование мелких кристаллов альбита и кварца (рис. 2в, г). Из глинистых минералов в порых и кавернах чаще всего встречается каолинит (мелкие агрегаты, расположенные вокруг регенерированных зерен альбита на рис. 2в). Под снимком приведен элементный спектр, полученный с каолинитового агрегата, расположенного немного ниже центральной части снимка. Часто вследствие растворения полевошпатовые зерна приобретают сотовидный облик (рис. 2г). Под снимком приведен элементный спектр этого зерна, которое, судя по набору присутствующих на нем пиков, представляет собой альбит с небольшой примесью калия. Исследование прокрашенных петрографических шлифов, изготовленных из измененных разновидностей эффузивов, имеющих эффективную емкость, (как, например, кварцевый ортофир с микропйкилитовой структурой (рис. 2д) или частично окварцованный порфир с перлитовой структурой), в котором пространство между перлами выполнено слабо девитрифицированным вулканическим стеклом (рис. 2е).

Продуктивные интервалы в ДК **Северо-Даниловского** месторождения сложены близкими по составу изверженными породами кислого и щелочного состава. Это светло-серые или светло-розовые, часто с буроватым оттенком (за счет насыщения нефтью) кавернозные, иногда трещиноватые ортофиры и литокристаллические туфы (рис. 3а, б). Выщелачиванию чаще всего подвержены полевые шпаты, из которых обычно выносятся альбитовый компонент, а остается калиевый (рис. 3в). Под снимком приведен элементный спектр, полученный с оставшегося нерастворенным калишпатового каркаса. Темноцветные минералы также неустойчивы в этих условиях, но они чаще всего практически полностью замещаются карбонатами и/или хлоритом (рис. 3г). Под снимком приведен элементный спектр, полученный с его площади. Судя по этому спектру хлорит имеет железистый состав с небольшой примесью магния.

Кроме крупных трещин и каверн в породах присутствуют мелкие поры и микрокаверны, прокрашившиеся смолой, как, например, в ортофире с выщелоченными, частично карбонатизированными и пелитизированными полевошпатовыми зернами (рис. 3д) или в окварцованном литокристаллическом туфе, с сохранившейся пемзовой текстурой (рис. 3е).

Таким образом, рассматриваемые изверженные породы сложены главным образом полевошпатовыми зернами, сцементированными вулканическим стеклом или спекшимся пеплом. Кварц в виде зерен или кристаллов присутствует реже. Основная часть кремнезема содержится в вулканическом стекле. Глинистые минералы, входящие в состав рассматриваемых пород, представлены каолинитом, хлоритом и гидрослюдой. Смешанослойные образования (на основе гидрослюды и монтмориллонита) встречаются редко и в небольшом количестве. Все глинистые минералы имеют вторичное происхождение и развиваются за счет неустойчивых минералов, входивших в состав эффузивов (кислых плагиоклазов, темноцветных минералов и вулканического стекла).

Судя по полученным данным, формирование коллекторов в ДК происходило в результате тектонического дробления исходных пород и сопровождалось наложенной гидротермальной проработкой, приведшей к растворению неустойчивых минералов, входящих в их состав. В результате протекания этих процес-

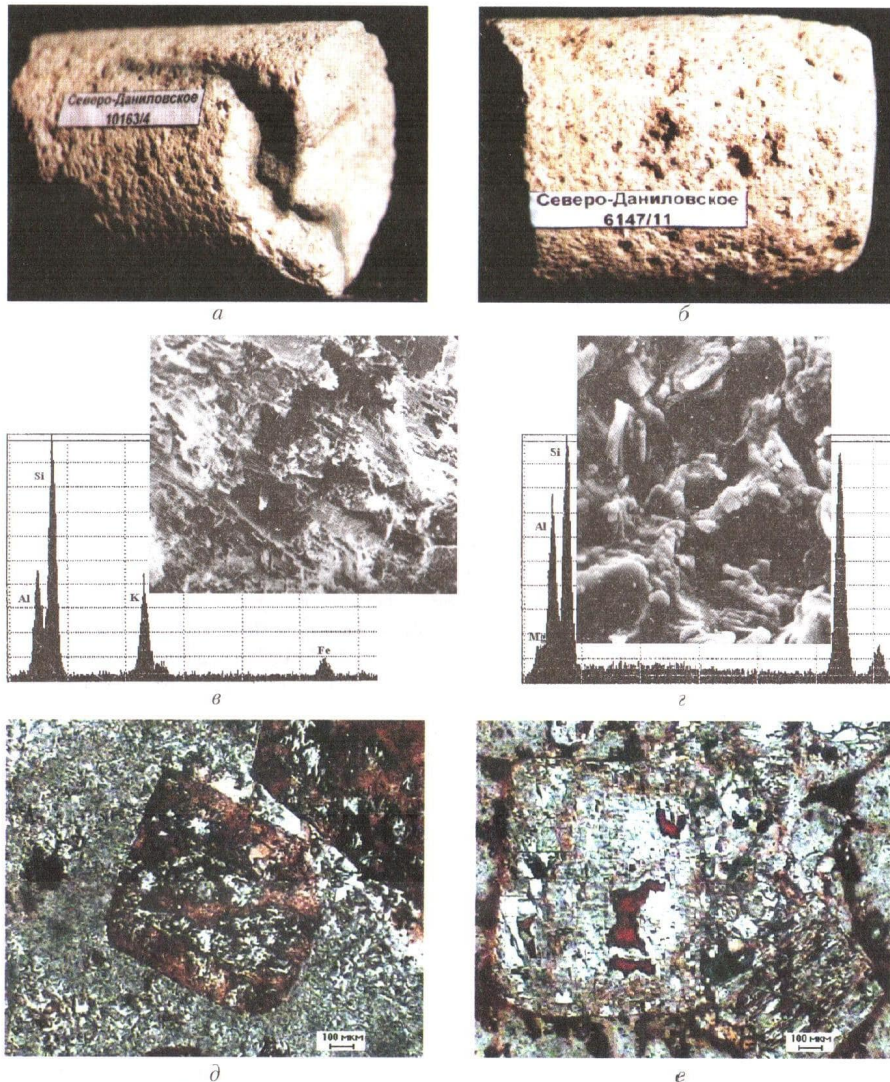


Рис. 3. Фотографии: образцов керна, уменьшено в 1.5 раза (а, б); РЭМ, увеличено в 120 (v) и 1500 (z) раз; прокрашенных петрографических шлифов (д, е); догорский комплекс, Северо-Даниловское месторождение (пояснения в тексте)

сов образовались вторичные коллекторы со сложной трещинно-кавернозно-поровой структурой емкостного пространства.

Коллекторские свойства и структура порового пространства продуктивных пород фундамента Шаимского района

Анализ емкостных свойств различных типов пород, входящих в состав ДК Шаимского района показал, что наименьший диапазон изменений значений открытой пористости (от 3.5 до 12.5%) имеют метаморфические породы, слагающие ДК в пределах Убинского месторождения (рис. 4а). Минимальные значения пористости ($K_{\text{н}}$) характерны для древних (нижнепалеозойских) массивных кварцитов, не содержащих трещин и каверн, а максимальные величины пористости встречаются в глинистых сланцах, имеющих серицитовый и хлорит-серицитовый состав, а также в более молодых (верхнепалеозойских) измененных метапесчаниках, обладающих эффективной емкостью, величина которой достигает 8-10% (см. рис. 1д, е). Изучение структуры порового пространства в прокрашенных смолой петрографических шлифах осветленных метапесчаников показало, что они обладают, главным образом, псевдогранулярной емкостью, причем размеры прокрашившихся пор, присутствующих между зернами изменяются в широких пределах – от 2-3 мкм до 50-70 мкм (см. рис. 1д, е). Кроме псевдогранулярной емкости в этом типе коллекторов отмечаются трещины с раскрытостью достигающей 100-120 мкм, и микрокаверны, размеры которых превышают 800-850 мкм (см. рис. 1е и д, соответственно).

Наиболее широкий диапазон пористости имеют образцы ДК, отобранные в пределах Даниловского месторождения - от 5.0 до 26.5% (см. рис. 4а). Основная часть эффективной (прокрашившейся смолой) емкости в эффузивах имеет вторичное происхождение и связана с процессами растворения и выщелачивания неустойчивых компонентов, входящих в состав рассматриваемых пород. Чаще всего, самые крупные вторичные поры возникают в полевошпатовых порфирах (см. рис. 2д). Размеры этих пор-микрокаверн часто достигают 650-850 мкм, в том случае, если они свободны от глинистого материала, они имеют ярко-бурый цвет. Второй тип вторичных пор имеет микроскопические размеры (первые микроны). Прокрашившиеся участки шлифов, в которых присутствуют поры этого типа, характеризуются темно-бурым цветом (см. рис. 2д, е). Описываемый тип пор чаще всего возникает в цементе, которым в рассматриваемых породах является вулканическое стекло, за счет выщелачивания неустойчивых компонентов и «разгерметизации» газовой-жидких микровключений, присутствующих в нем. Кроме того, в рассматриваемых образцах присутствуют трещины с раскрытостью до нескольких миллиметров и каверны, имеющие диаметр до 1.5-2 см (см. рис. 2а, б).

Пористость образцов ДК, отобранных из скважин Северо-Даниловского месторождения, изменяется в пределах от 3.0 до 20% (см. рис. 4а). Так же как и в рассмотренных выше образцах эффузивов, слагающих ДК Даниловского месторождения, в них выделяется несколько типов пор. Макропоры, возникновение которых связано с процессами растворения полевошпатовых порфиров, причем часть таких пор заполнена вторичными глинистыми минералами, из-за чего они приобретают темно-бурюю окраску (см. рис. 2д), другая часть пор, свободная от глинистого материала, имеет ярко-красный или бурый цвет (см. рис. 2е). Размеры пор рассматриваемого типа изменяются в пределах от 6-9 мкм до 0.15-0.20 мм. Так же как и в ранее рассмотренных образцах эффузивов

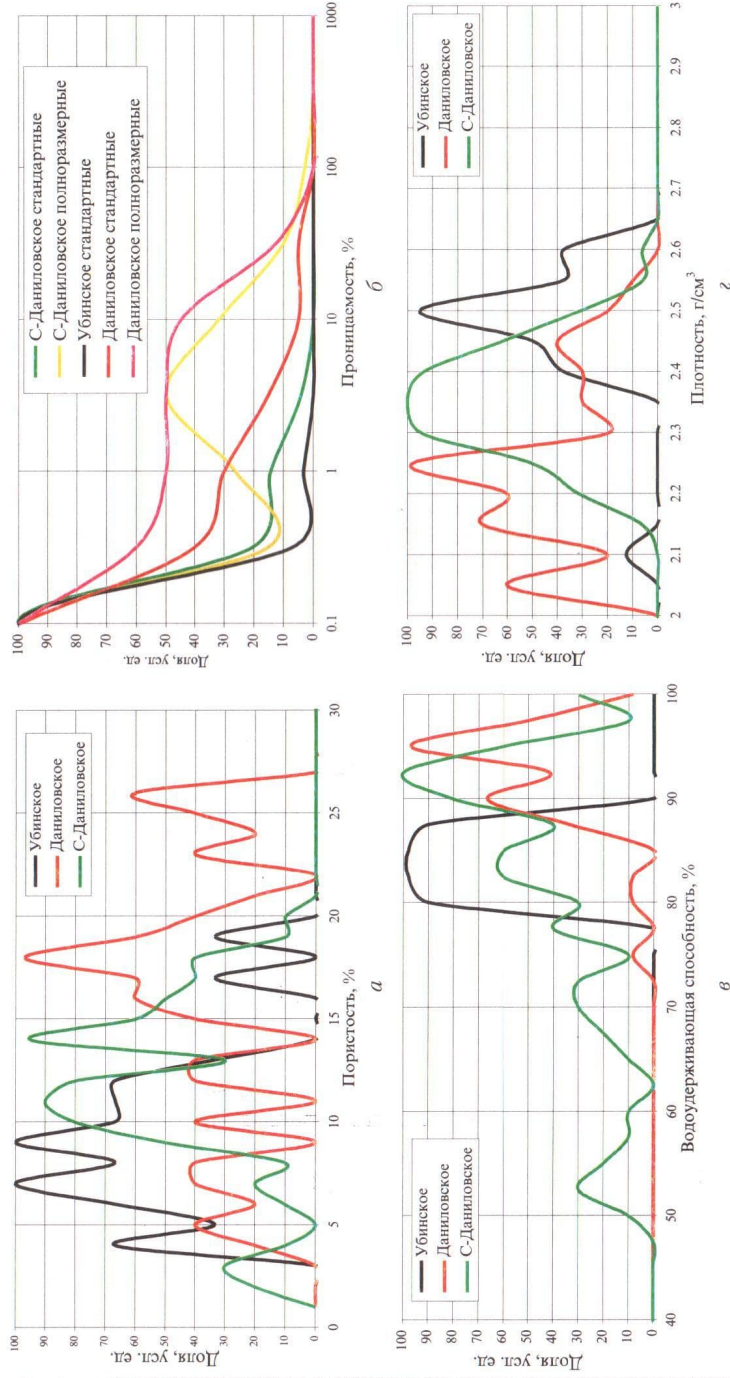


Рис. 4. Распределение значений пористости (а), проницаемости (б), водоудерживающей способности (в) и плотности (г) образцов, отобранных из доюрского комплекса Убинского, Даниловского и Северо-Даниловского месторождений

Даниловского месторождения, в них присутствуют и микропоры, обладающие очень мелкими размерами (первые микроны), которые в шлифах имеют темно-бурый до коричневого цвет (см. рис. 2д, е). Отмечаются трещины с раскрытостью до 1.5 см и каверны с диаметром до 8 мм (см. рис. 2а и б, соответственно).

Проницаемость ($K_{пр}$) подавляющего большинства образцов, отобранных из ДК Шаимского района, независимо от их типа, состава и возраста, не превышает 1 мД (рис. 4б). Лишь среди полноразмерных образцов заметно увеличивается доля таковых с проницаемостью более 1 мД. Отмеченный феномен объясняется так называемым масштабным эффектом, заключающимся в том, что трещины, которые и обуславливают главным образом фильтрационные свойства образцов, сохраняются лишь в больших (полноразмерных) образцах. В цилиндрах стандартного размера возможность сохранения трещин очень низкая, так как они чаще всего в процессе их высверливания разрушаются именно по этим трещинам.

Водоудерживающая способность или остаточная водонасыщенность образцов ($K_{во}$), отобранных из ДК, характеризуется очень высокими значениями. Большинство исследованных образцов имеет $K_{во}$ более 70-75% и лишь небольшая часть образцов ДК, отобранных из скважин Северо-Даниловского месторождения, имеет $K_{во}$ менее 70% (рис. 4в). Высокие значения $K_{во}$ свидетельствуют о том, что основная часть пор присутствующих в образцах, обладает очень мелкими размерами (доли микрона и первые микроны).

Большинство образцов, входящих в состав ДК Шаимского района, имеет объемную плотность, значения которой варьируют в пределах от 2.1 г/см³ до 2.7 г/см³ (рис. 4г). Наибольшей величиной объемной плотности характеризуются образцы, отобранные в пределах Убинского месторождения (в среднем 2.5 г/см³).

Большинство образцов, отобранных из ДК Северо-Даниловского месторождения, имеют промежуточную по величине объемную плотность – 2.35 г/см³ (см. рис. 4г).

Минимальными значениями объемной плотности характеризуются образцы, отобранные из ДК Даниловского месторождения – в среднем 2.20 г/см³ (см. рис. 4г).

Изучение фундаментальной петрофизической зависимости плотность-пористость, построенной для образцов, отобранных из ДК Шаимского района (рис. 5), в целом подтвердило закономерности, выявленные при анализе рис. 4г. Действительно, линия регрессии, отвечающая образцам, отобранным из ДК Убинского месторождения, расположена выше двух остальных, построенных на основании исследований образцов из ДК Даниловского и Северо-Даниловского месторождений (рис. 5).

Столь значительные различия в величинах объемных плотностей пород, входящих в состав фундамента различных месторождений Шаимского района, обусловлены в первую очередь их неодинаковым вещественным составом.

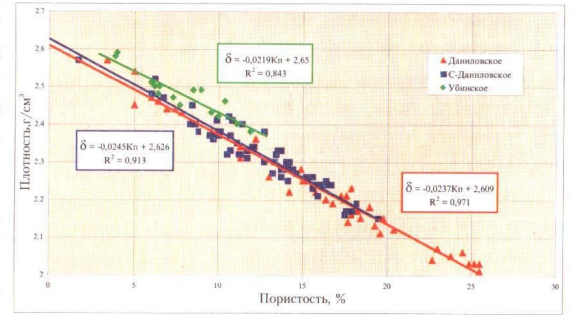


Рис. 5. Связь плотности с пористостью образцов, отобранных из доюрского комплекса Убинского, Даниловского и Северо-Даниловского месторождений (образцы стандартного размера)

Высокая объемная плотность метаморфических сланцев, слагающих ДК Убинского месторождения, в первую очередь, обусловлена повышенным содержанием в их составе, наряду с кварцем, таких плотных минералов как серицит (2.88 г/см^3) и хлорит ($2.6\text{-}3.3 \text{ г/см}^3$) в зависимости от их структуры и состава. Кроме того, в кавернах и трещинах, присутствующих в них, отмечается эпигенетический анкерит, имеющий плотность около 3.0 г/см^3 (см. рис. 1в).

Низкая объемная плотность изверженных пород, входящих в состав фундамента Северо-Даниловского и особенно Даниловского месторождений, объясняется высоким содержанием в них калиевых полевых шпатов, имеющих наименьшую среди основных породообразующих минералов минералогическую плотность (от 2.55 до 2.63 г/см^3), а также значительной концентрацией вулканического стекла, цементирующего кварц-полевощпатовые порфиры, которое из-за повышенного содержания в нем газовой-жидких микровключений также имеет низкую плотность. Действительно, в перлите (разновидность вулканического стекла), как известно, содержание конституционной воды может составлять в среднем от 3 до 5% .

Сопоставление плотности и пористости по отдельным скважинам, как правило, дает более тесные связи, чем общая зависимость между этими параметрами, построенная для образцов, отобранных из всех скважин. Однако, если в разрезе, вскрытом одной скважиной, встречаются разные типы пород, имеющие неодинаковую минералогическую плотность, как, например, в скв. 10163, то между плотностью и пористостью значимой связи не наблюдается (см. рис. 6). Действительно, верхняя часть разреза, вскрытого этой скважиной, представлена плотными с низкой открытой пористостью образцами эффузивов кислого состава, минералогическая плотность которых изменяется в пределах от 2.51 до 2.66 г/см^3 , а нижняя его часть сложена довольно пористыми (K_{10} до 14%) сильно измененными эффузивами среднего состава, имеющими минералогическую плотность $2.68\text{-}2.72 \text{ г/см}^3$, обусловленную, главным образом, присутствием в их составе значительной примеси мелкокристаллического рудного минерала (предположительно ильменита).

Сопоставление между собой значений K_{10} и K_{11} , выполненное для всех образцов Даниловского и Северо-Даниловского месторождений, не позволило получить значимой зависимости между этими параметрами. В то же время для образцов, отобранных из одной скважины, в ряде случаев были получены значимые зависимости, как, например, для таковых, отобранных из скв. 10022 и 10172 (рис. 7а). Следует обратить внимание на то, что полученные связи сильно отличаются друг от друга, что объясняется различным строением порового пространства пород-коллекторов, вскрытых этими скважинами. Если в образцах,

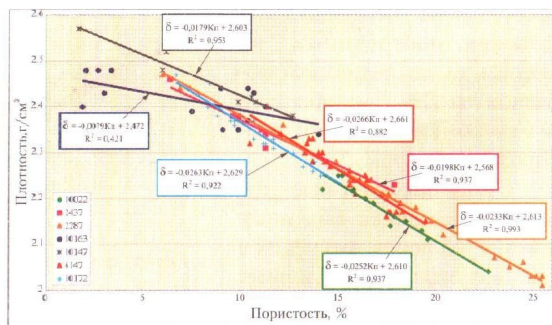


Рис. 6. Сопоставление плотности с пористостью по ядру пород фундамента Даниловского и Северо-Даниловского месторождений (образцы стандартного размера)

отобранных из скв. 10022, основная часть прокрашенных смолой пор имеет чрезвычайно мелкие размеры и содержится в цементирующей матрице, представленной измененным вулканическим стеклом (верхняя врезка на рис. 7а), то в образцах, отобранных из скв. 10172, наоборот, основная часть прокрашенной смолой емкости расположена в полевощпатовых порфиробластах, которые почти полностью выщелочены и заполнены эпигенетическим каолинитом (нижняя врезка на том же рисунке). В последнем случае поры, присутствующие в выщелоченных зернах полевых шпатов, гораздо крупнее, чем и объясняется меньшее значение K_{10} в образцах, отобранных из этой скважины, хотя их открытая пористость заметно ниже, чем в образцах, отобранных из скв. 10022 (см. рис. 7а). Несмотря на высокую величину открытой пористости у образцов, отобранных из этой скважины (до 23%), их эффективная емкость составляет чуть больше 2% .

Таким образом, проведенные исследования позволили изучить коллекторские свойства, главным образом, матрицы, а вклад каверн и особенно трещин в фильтрационно-емкостные свойства пород ДК остался практически не изученным.

Поэтому с целью оценки величины трещинно-кавернозной емкости с помощью программы ВидеоТест изучены фотографии полноразмерных образцов (см., например, рис. 1а, б, 2а, б, 3а, б), а также прокрашенные смолой пришлифовки, подготовленные для изготовления петрографических шлифов. Анализ результатов проведенных исследований показал, что в образцах, отобранных из ДК Убинского месторождения трещинно-кавернозная емкость изменяется в пределах от 0.31 до 1.01% , а размеры каверн варьируют в пределах от 0.3 до 5.1 мм. В пришлифовках те же параметры немного отличаются. Так трещинно-кавернозная емкость в них изменяется от 0.31 до 0.93% , а размеры каверн варьируют в пределах от 0.41 до 4.96 мм.

Величина трещинно-кавернозной емкости в полноразмерных образцах, отобранных из ДК Даниловского месторождения, изменяется от 0.30 до 3.52% , размеры каверн варьируют в пределах от 0.31 до 9.54 мм, а в пришлифовках те же параметры изменяются следующим образом: трещинно-кавернозная емкость – от 0.07 до 2.38% , а их размеры – от 0.30 до 9.52 мм.

Наибольшую величину трещинно-кавернозной емкости имеют полноразмерные образцы, отобранные из ДК Северо-Даниловского месторождения. В них ее величина составляет $0.31\text{-}4.26\%$, а размеры каверн варьируют в пределах от 0.31 до 15.3 мм. В заготовках прокрашенных смолой шлифов трещинно-кавернозная емкость изменяется от 0.07 до 4.14% , а размеры каверн варьируют от 0.29 до 7.90 мм.

Различия в размерах каверн и величине трещинно-кавернозной емкости, наблюдаемые у полноразмерных образцов и прокрашенных смолой пришлифовок, скорее всего, объясняются масштабным эффектом.

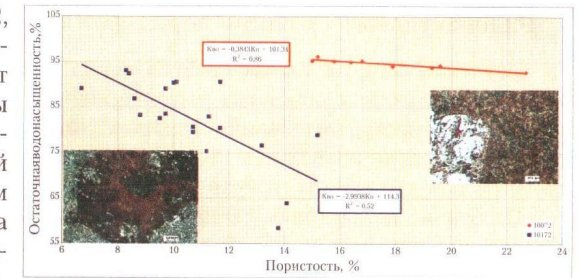


Рис. 7. Сопоставление остаточной водонасыщенности и пористости образцов, отобранных из доюрского комплекса Даниловского (скв. 10022) и Северо-Даниловского (скв. 10172) месторождений

Радиоактивные свойства пород фундамента Шаимского района

Изучение радиоактивных свойств пород, слагающих ДК, проводилось для решения следующих основных задач: привязки образцов керна к вскрытому скважиной разрезу, выделению основных типов пород, входящих в состав ДК, корреляции различных типов пород между соседними скважинами и, наконец, прогноза коллекторских свойств пород, слагающих ДК.

На основе полученных данных о содержании радиоактивных элементов и суммарной радиоактивности образцов, отобранных из ДК Убинского, Даниловского и Северо-Даниловского месторождений, удалось выделить по пять классов пород в составе ДК каждого из этих месторождений (рис. 8).

Наиболее однозначно по радиоактивным свойствам выделяются различные литологические типы пород в составе ДК Убинского месторождения.

Первый тип пород представлен черными сланцами, имеющими самую высокую среди других пород суммарную радиоактивность, превышающую 30 μg (см. рис. 8 а). Основной вклад в суммарную радиоактивность вносит уран, доля которого составляет 57-75%. Судя по величине торий-уранового отношения, рассматриваемый литотип накапливался в восстановительных условиях морского или озерного бассейна. Из-за высокого содержания в нем глинисто-слюдистых минералов он не представляет интереса как потенциальный коллектор.

Второй тип широко распространен в пределах месторождения и представлен несколькими близкими по составу разновидностями сланцев. Они характеризуются умеренно высокими значениями суммарной радиоактивности, изменяющейся в пределах от 7-8 до 10-12 μg (см. рис. 8 а). Обычно основной вклад в суммарную радиоактивность рассматриваемых сланцев вносят калий и торий, а судя по величине торий-уранового отношения в подавляющем большинстве это метаморфизованные континентальные отложения. Они имеют преимущественно глинисто-слюдистый состав с примесью метаалевритового материала и редкими тонкими прожилками кварцитов или метапесчаников. Как потенциальные коллекторы, рассматриваемые породы интереса не представляют.

Третий тип пород также довольно широко распространен в составе ДК Убинского месторождения. Для этих пород характерны более низкие, по сравнению с предыдущими типами, значения суммарной радиоактивности - в среднем от 5-6 до 8-9 μg (см. рис. 8 а). В величине суммарной радиоактивности описываемых сланцев часто преобладает вклад калия, так как это обычно серицитовые или хлорит-серицитовые сланцы с заметной долей метаалевритовых обломков, а также прожилками или трещинками, заполненными мелкозернистым кварцем. Из-за довольно высокого содержания в рассматриваемых породах глинисто-слюдистого материала как потенциально возможные (вторичные) коллекторы эти породы так же как и предыдущие не представляют интереса.

Четвертый тип пород распространен не так широко как два предыдущих. Он представлен кварц-серицитовыми или кварц-серицит-хлоритовыми сланцами с многочисленными прожилками кварцитов, в которых встречаются микрокаверны с выросшими на их поверхности кристаллами кварца, карбонатов и каолинита (см. рис. 16). Величина суммарной радиоактивности рассматриваемых пород заметно ниже, чем у предыдущих типов и составляет в среднем 3-5 μg (см. рис. 8а). Основной вклад в суммарную радиоактивность вносит калий.

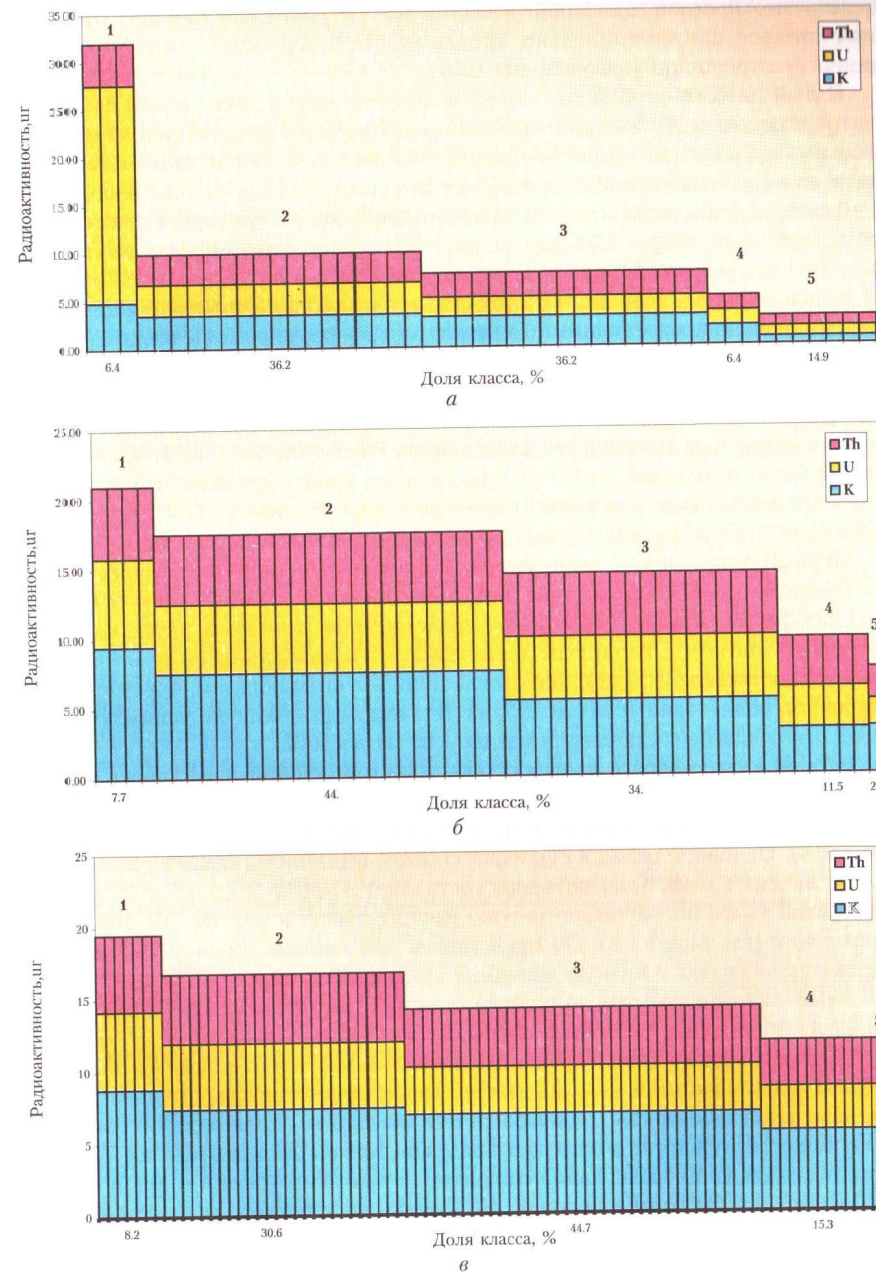


Рис. 8. Усредненные радиоактивные характеристики основных классов пород, выделенных в составе фундамента Убинского (а), Даниловского (б) и Северо-Даниловского месторождений.

Кремнистые прослои, входящие в состав рассматриваемых сланцев, представляют интерес как потенциально продуктивные (вторичные) коллекторы трещинного и трещинно-кавернозного типа.

Пятый литологический тип пород встречен в разрезе всего одной скважины. Он представлен осветленными кремнистыми сланцами (метапесчаниками) с невысоким содержанием глинисто-слоистого материала. В них присутствует эффективная (прокрашившаяся смолой) емкость (см. рис. 1а, д, е). Эти породы имеют минимальную среди всех остальных типов сланцев суммарную радиоактивность, не превышающую 3-3.5 $\mu\text{г}$ (см. рис. 8а). Вклад калия в общую радиоактивность рассматриваемых пород невелик, поэтому уран и торий являются основными радиоактивными элементами, входящими в их состав. Этот тип пород является потенциально продуктивным – в чем возможно формирование вторичных коллекторов с псевдогранулярной и трещинно-кавернозной емкостью.

Среди пород, входящих в состав ДК Даниловского и Северо-Даниловского месторождений, выделение различных классов не так однозначно, как для ранее рассмотренных метаморфических пород. Разбиение на классы в известном смысле носит условный характер, причем чаще всего определенный класс, выделенный по его радиоактивным свойствам, бывает вскрыт одной, реже двумя скважинами. Поэтому нет смысла приводить их детальные описания.

Первый класс пород, выделенный в составе ДК обоих месторождений, – это эффузивы щелочного состава, в которых кварц часто полностью отсутствует, а порфиробластовые выделения представлены калиевым, реже натровым полевыми шпатами. Эти породы характеризуются максимальной суммарной радиоактивностью (до 21.0 $\mu\text{г}$), обусловленной, главным образом, присутствием в них калия, реже тория (см. рис. 8б, в). Вклад калия в общую радиоактивность пород этого класса составляет в среднем от 39 до 50%.

Второй класс пород в пределах обоих месторождений представлен довольно многочисленными образцами кислых и щелочных эффузивов. Суммарная радиоактивность описываемого класса пород изменяется от 15.6 до 19 $\mu\text{г}$ (см. рис. 8б, в). Основной вклад в суммарную радиоактивность, как и в предыдущем классе, вносит калий, доля которого составляет 34-50%.

Третий класс пород также широко распространен в составе ДК обоих месторождений (см. рис. 8б, в). Он представлен эффузивами кислого состава, имеющими немного более низкую величину суммарной радиоактивности (12.8-15.5 $\mu\text{г}$). Вклад калия в суммарную радиоактивность рассматриваемого класса пород варьирует в широких пределах – от 31.6 до 58%.

Четвертый класс пород представлен кислыми и переходными от кислых к средним эффузивами (см. рис. 8б, в). Они характеризуются сравнительно невысокой величиной суммарной радиоактивности 9.8-12.6 $\mu\text{г}$. Доля калия в общей радиоактивности варьирует в широких пределах, причем, если в пределах Даниловского месторождения вклад калия соизмерим с таковыми урана и тория и изменяется от 28.3 до 33.8%, то в породах ДК Северо-Даниловского месторождения он по-прежнему является основным и его доля составляет от 34.5 до 50.8%.

Сопоставляя концентрации калия в третьем и четвертом классах пород, входящих в состав ДК Даниловского и Северо-Даниловского месторождения, можно отметить, что они являются более «калиевыми» в пределах последнего.

Пятый класс пород представлен эффузивами среднего состава, встречаю-

щимися очень редко и в незначительном количестве в разрезах ДК рассматриваемых месторождений (см. рис. 8б, в). Они характеризуются минимальной величиной суммарной радиоактивности (всего 6.8-7.6 $\mu\text{г}$). Доля калия в суммарной радиоактивности изменяется в широких пределах – от 29.3 до 45%.

В отличие от метаморфических пород, вскрытых на Убинском месторождении, среди которых продуктивными могут быть лишь последние два класса, все рассмотренные типы изверженных пород, встреченные в пределах Даниловского и Северо-Даниловского месторождений, являются потенциально продуктивными. Иными словами, во всех из них могут формироваться вторичные породы-коллекторы.

Сопоставление радиоактивных и коллекторских свойств между собой не позволило установить значимые связи между ними, поэтому на основе данных о радиоактивных свойствах пород ДК можно осуществлять, главным образом, их литотипизацию, корреляцию и выделение среди них потенциально продуктивных типов пород, в которых возможно формирование вторичных коллекторов сложного трещинно-кавернозно-порового типа.

Акустические свойства пород доюрского комплекса Шаимского района

Фундаментальной петрофизической зависимостью является связь между скоростью распространения волн в породе и ее плотностью. Поскольку при близком минералогическом составе пород их плотность зависит, главным образом, от их пористости, то представляет несомненный интерес проанализировать связь пористости и скорости распространения продольных и поперечных волн в породах, слагающих доюрский комплекс рассматриваемых месторождений.

Скорости распространения продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн в породах ДК Убинского месторождения изменяются, соответственно, от 2850 до 7170 м/с и от 1420 до 4120 м/с. В изверженных породах, слагающих ДК Даниловского месторождения, эти же параметры имеют самые низкие значения – от 3520 до 5450 м/с (V_p) и от 1580 до 3250 м/с (V_s), а в эффузивах, входящих в состав ДК Северо-Даниловского месторождения, они характеризуются промежуточными величинами – от 3710 до 6200 м/с (V_p) и от 2090 до 3770 м/с (V_s).

На небольшой коллекции образцов метаморфических сланцев получена надежная обратная пропорциональная связь между величиной их открытой пористости и скоростью распространения в них продольных и поперечных волн (рис. 9 а). Максимально возможные скорости распространения продольных и поперечных волн в рассматриваемых породах (при условии $K_{II} = 0$) составляют, соответственно, 7972 м/с и 4786 м/с.

Сопоставление значений V_p и V_s с величиной K_{II} , полученных на образцах, отобранных из ДК Даниловского и Северо-Даниловского месторождений, не позволило установить значимых связей для всего объема данных в целом. Однако при разбиении всей выборки результатов акустических исследований по отдельным скважинам удалось получить достаточно надежные зависимости между обсуждаемыми параметрами (см. рис. 9б, в). Следует обратить внимание на тот факт, что максимально возможные скорости распространения продольных и поперечных волн в изверженных породах (при условии $K_{II} = 0$), входя-

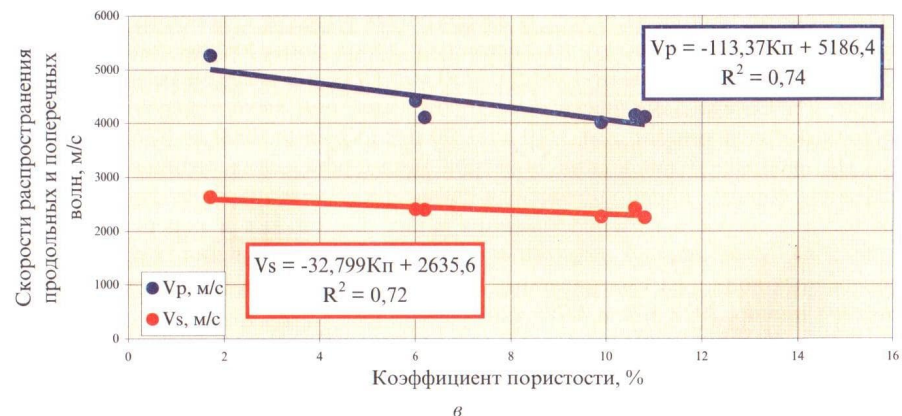
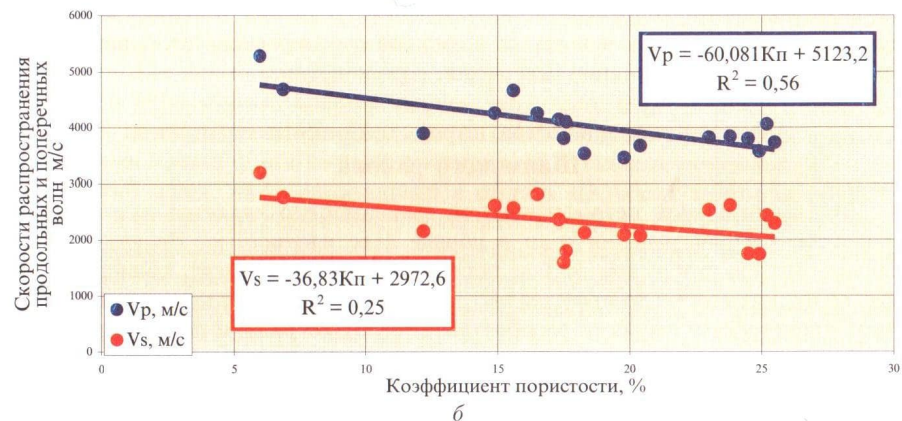
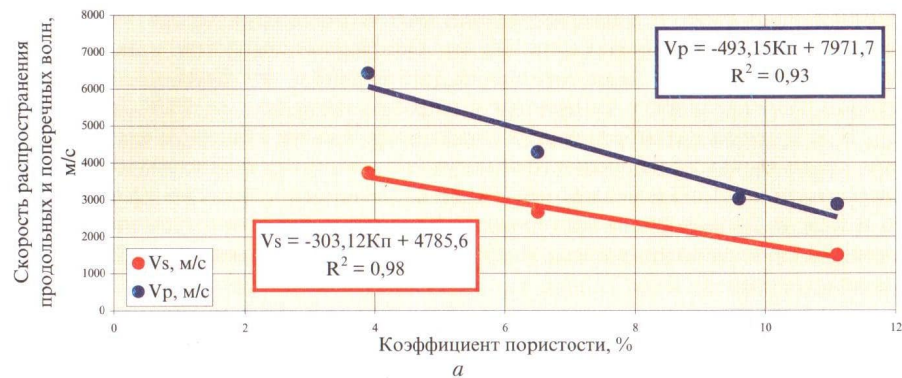


Рис. 9. Зависимости скорости распространения продольной и поперечной волны от коэффициента пористости в образцах, отобранных из доюрского комплекса Убинского, скв. 3526, 3790, 3866 (а), Даниловского, скв. 2287 (б) и Северо-Даниловского, скв. 10147 (в) месторождений

щих в состав ДК Даниловского и Северо-Даниловского месторождений, заметно ниже, чем в метаморфических породах Убинского месторождения и составляют, соответственно, 5123 м/с и 2973 м/с - в эффузивах Даниловского месторождения, а также 5186 м/с и 2636 м/с - в изверженных породах Северо-Даниловского месторождения (см. рис. 9б, в). Установленный факт объясняется отмеченным выше значительным отличием минералогической и объемной плотности метаморфических пород от изверженных (см. рис. 5).

Акустические характеристики одних и тех же образцов, исследованные с помощью низко- и высокочастотных источников излучения, имеют близкие величины (в последнем случае они немного выше - в 1.05-1.2 раза), поэтому данные, полученные на образцах стандартного размера с помощью высокочастотного «прозвучивания», вполне могут использоваться для интерпретации результатов акустического каротажа.

С целью анализа акустической неоднородности образцов из ДК на примере полноразмерных образцов, отобранных в пределах Даниловского месторождения из скв. 2287, было выполнено несколько определений в различных точках в пределах одного и того же образца. Анализ полученных данных показал, что наряду с довольно однородными по акустическим свойствам образцами встречаются анизотропные по этим свойствам образцы, что указывает на наличие в них участков в большей или меньшей мере трещиноватых.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о возможности использования акустических характеристик образцов для оценки их емкостных свойств при условии их достаточно однородного минералогического состава, что соответственно, дает основание надеяться, что по данным акустического каротажа удастся определить величину пористости пород фундамента.

Электрические свойства пород фундамента Шаимского района

Электрические свойства изучены лишь у образцов пород, отобранных из ДК Даниловского и Северо-Даниловского месторождения. Из образцов фундамента представляющих собой коллектор, отобранных в пределах Убинского месторождения, не удалось изготовить цилиндры из-за их низкой механической прочности.

Зависимости $R_p = f(K_p)$, построенные на основе определения электрических свойств образцов, отобранных в пределах упомянутых месторождений, распределились следующим образом. Минимальный угол наклона и, соответственно, самое низкое значение структурного показателя (m_0) имеет зависимость, построенная на основе исследований образцов, отобранных из ДК Даниловского месторождения (рис. 10а). Максимальный угол наклона и, соответственно, наибольшую величину m_0 имеет зависимость, построенная по данным исследований электрических свойств образцов, отобранных из ДК Северо-Даниловского месторождения. Зависимость, построенная на основе исследований полноразмерных образцов, занимает промежуточное положение (см. рис. 10а). Таким образом, можно предположить, что наиболее сложную структуру порового пространства (максимально извилистую) имеют образцы, отобранные из ДК Северо-Даниловского месторождения.

Зависимость параметра насыщения (R_n) от коэффициента водонасыщенности (K_n) образцов, отобранных из ДК Даниловского и Северо-Даниловского мес-

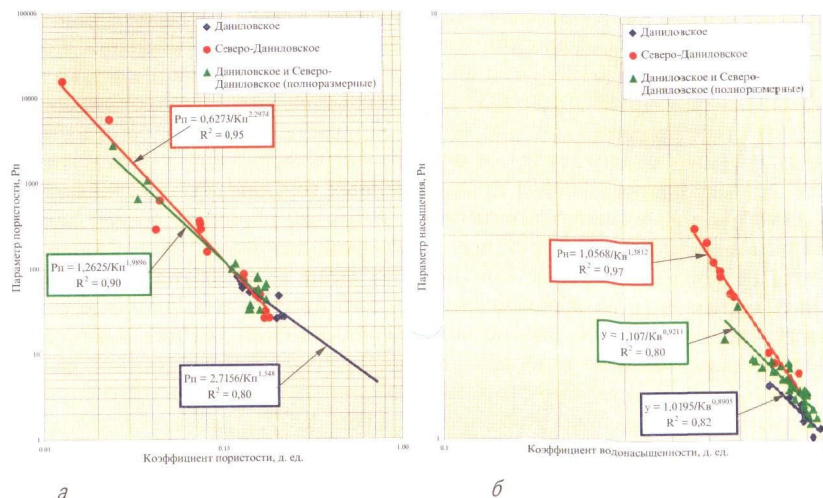


Рис. 10. Сопоставление параметра пористости и коэффициента пористости (а), параметра насыщенности и коэффициента водонасыщенности (б) образцов пород, отобранных из доюрского комплекса Даниловского и Северо-Даниловского месторождений

торождений, характеризуется схожей с ранее рассмотренной последовательностью изменения углов наклона обсуждаемых зависимостей. Минимальный угол наклона имеет зависимость между R_n и K_p , построенная по результатам исследований электрических свойств образцов, отобранных из ДК Даниловского месторождения (рис. 10б). Максимальный угол наклона отмечается у зависимости, построенной по данным изучения электрических свойств образцов, отобранных из ДК Северо-Даниловского месторождения. Промежуточное положение занимает зависимость, построенная на основании исследований электрических свойств полноразмерных образцов, отобранных из ДК обоих месторождений (см. рис. 10б). Полученные данные свидетельствуют о том, что при одном и том же значении R_n коэффициент нефтенасыщения (K_n) у образцов, отобранных из ДК Даниловского месторождения, выше примерно на 15-17%, чем у образцов, отобранных из фундамента Северо-Даниловского месторождения.

Адсорбционно-диффузионная активность пород фундамента Шаимского района

Наличие значительных отрицательных аномалий потенциала собственной поляризации (ПС) в интервалах залегания пород ДК Даниловского и Северо-Даниловского месторождений и особенно в участках развития в их составе коллекторов вызвало интерес к исследованию их адсорбционно-диффузионной активности (Ада), которая, скорее всего, является главной составляющей в величине отмечаемой на кривых ПС отрицательных аномалий. Действительно, сопоставление величины Ада и значений K_p образцов, отобранных из ДК Даниловского и Северо-Даниловского месторождений, позволило установить высококоррелятивную обратно пропорциональную зависимость между этими

параметрами (рис. 11). Следовательно, рассматриваемые породы-коллекторы довольно уверенно можно относить к псевдогранулярному типу, а по величине бПС оценивать долю пористости этого типа, тем более, что трещинно-кавернозная составляющая общей емкости образцов, как было показано выше, обычно не превышает 2-3% от ее величины.

Заключение

Приведенные в настоящей работе данные свидетельствуют о том, что фундамент Шаимского района имеет двухэтажное строение (нижний этаж - палеозойское основание и верхний - тафrogenный комплекс вулканогенно-осадочно-происхождения). Углеводородные залежи обнаружены лишь в породах нижнего этажа, причем в определенных типах пород. В породах метаморфического происхождения продуктивными являются две главные разновидности: во-первых, кремнистые сланцы различного состава и, во-вторых, метапесчаники и близкие к ним по составу породы. Среди изверженных пород залежи нефти встречаются в эффузивах кислого и щелочного состава.

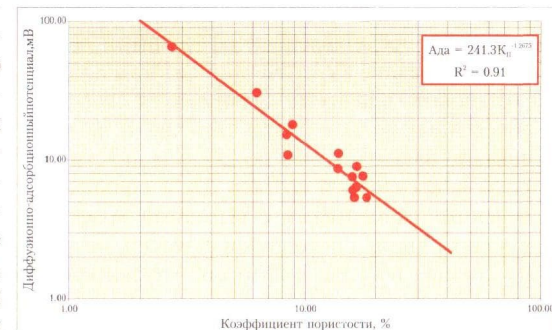


Рис. 11. Зависимость диффузионно-адсорбционного потенциала от величины открытой пористости образцов, отобранных из доюрского комплекса Даниловского и Северо-Даниловского месторождений

Анализ коллекторских свойств пород, отобранных из ДК Шаимского района показал, что подавляющее большинство из них представляют собой матрицу, имеющую проницаемость менее 1 мД. Полноразмерные образцы обладают более высокой проницаемостью, что объясняется лучшей сохранностью в них трещин, по которым и осуществляется главным образом фильтрация флюидов.

Анализ структуры порового пространства образцов, отобранных из ДК различных месторождений, включая прокрашенные смолой петрографические шлифы, позволил установить, что в метаморфических породах присутствуют два основных типа коллекторов - трещинно-кавернозный (в кремнистых сланцах) и трещинно-кавернозно-поровый (образующийся в метапесчаниках). В изверженных породах присутствует один сложный тип коллектора - трещинно-кавернозно-поровый. Из-за очень мелких размеров основного количества пор, присутствующих в них (около 1 мкм и меньше), несмотря на высокую величину открытой пористости, эффективная емкость этих пород редко превышает 4-6%.

Зависимость плотность-пористость для образцов, отобранных из ДК различных месторождений, отличаются друг от друга, что объясняется их различной минералогической плотностью. Самую высокую минералогическую плотность имеют образцы, отобранные из ДК Убинского месторождения, а самую низкую - образцы из ДК Даниловского месторождения. В тех случаях, когда в состав фундамента одного и того же месторождения входят породы с различ-

ной минералогической плотностью, зависимость пористость-плотность резко ухудшается. Поэтому при использовании «плотностных» методов ГИС необходимо учитывать состав минералов, слагающих ДК, вскрытых той или иной скважиной, для чего следует использовать данные радиоактивного каротажа, а еще лучше результаты скважинной гамма-спектрометрии.

Наиболее надежно по результатам гамма-спектрометрических исследований выделяются различные типы метаморфических пород, что позволяет сразу исключить из рассматриваемого интервала ДК разновидности, не представляющие интереса как потенциально-продуктивные породы, то есть отложения, в которых невозможно формирование вторичных коллекторов. Разбиение на классы изверженных пород на основании их гамма-спектрометрической характеристики не так однозначно, однако также дает возможность выделить потенциально-продуктивные породы, представленные эффузивами кислого и щелочного состава.

Исследование акустических свойств пород ДК Шаимского района позволило установить значимые связи между скоростью распространения продольных и поперечных волн, с одной стороны, и их пористостью с другой, поэтому есть основание надеяться, что по данным акустического каротажа удастся выделять породы-коллекторы в составе ДК и оценивать их емкостные свойства. Однако отмеченные зависимости с высокими коэффициентами детерминации удалось установить лишь для разрезов скважин, вскрывших близкие по минералогическому составу породы, в которых псевдогранулярная пористость составляет основную часть их емкости. Анализ акустической неоднородности полноразмерных образцов позволил установить наличие в некоторых из них трещиноватых участков. Если трещины имели значительные размеры и большую раскрытость, то акустический сигнал зачастую полностью пропадал (не проходил через трещиноватый участок в образце).

Полученные зависимости $R_p-f(K_p)$ и $R_n-f(K_n)$ могут быть использованы при интерпретации электрических методов ГИС с целью определения по геофизическим данным величины пористости пород ДК и характера их насыщения.

Установленная надежная зависимость между $\Delta\alpha$ и величиной открытой пористости образцов ДК, отобранных в пределах Даниловского и Северо-Даниловского месторождений, позволяет надеяться, что по величине бПС можно оценивать величину псевдогранулярной пористости, присутствующей в породах-коллекторах, входящих в состав фундамента этих месторождений.

Таким образом, на основе результатов комплексных литолого-петрофизических исследований пород ДК Убинского, Даниловского и Северо-Даниловского месторождений удалось реконструировать механизм формирования пород-коллекторов, входящих в состав фундамента этих месторождений, определить их тип и подготовить петрофизическую базу для разработки алгоритма определения их подсчетных параметров.