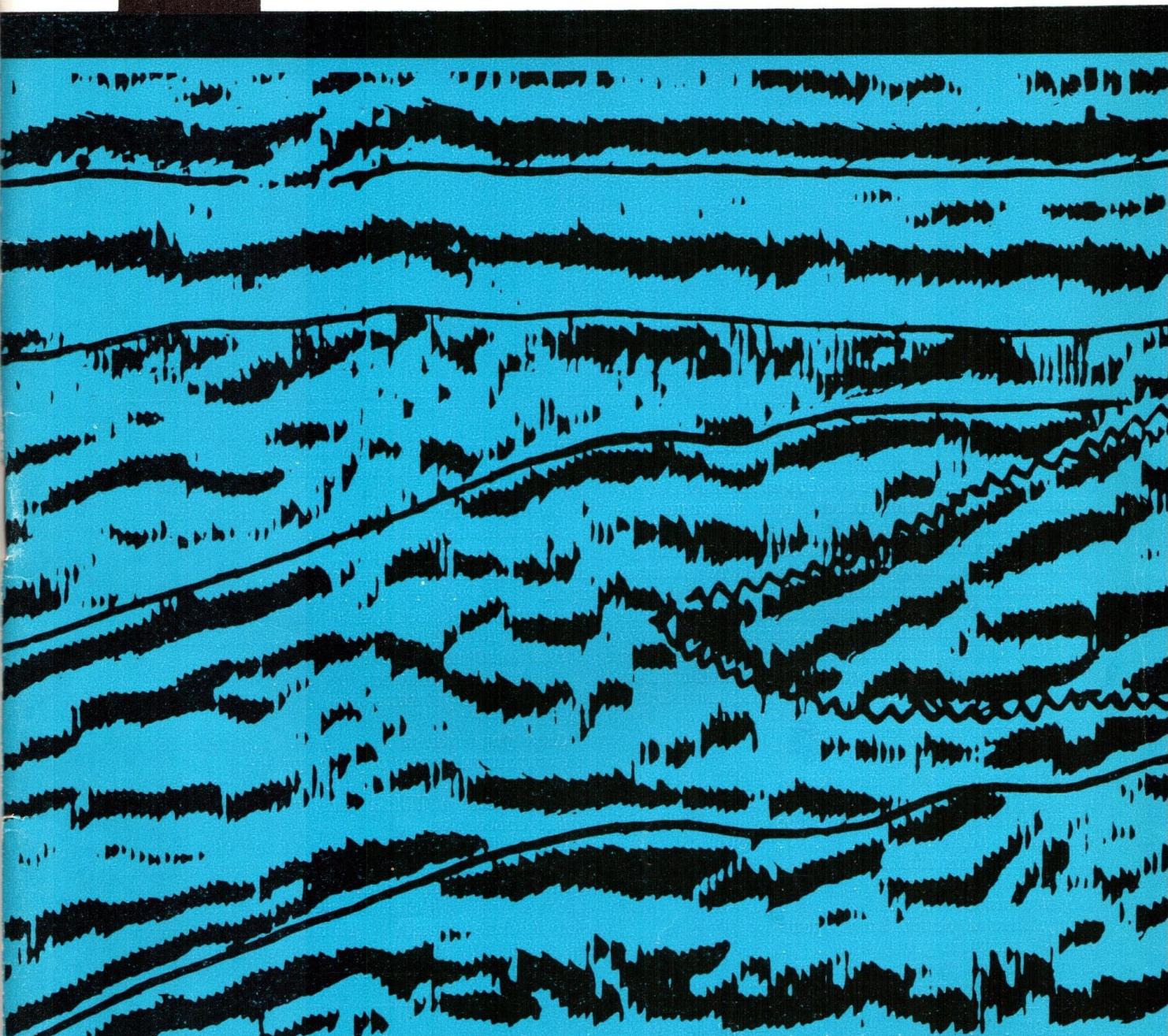


ISSN 0016-7894

ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА



6·1989

ПРОЛЕТАРИИ ВСЕХ СТРАН, СОЕДИНЯЙТЕСЬ!

ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА



6 • ИЮНЬ • 1989

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
МИНИСТЕРСТВА ГЕОЛОГИИ,
МИНИСТЕРСТВА ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
МИНИСТЕРСТВА НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Основан в январе 1957 г.

Гл. редактор
Ф. К. САЛМАНОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

М. Д. БЕЛОНИН, П. А. БРОДСКИЙ, А. Г. БУДАГОВ,
И. В. ВЫСОЦКИЙ, Г. А. ГАБРИЭЛЯНЦ (зам. гл. редактора),
Г. Н. ГОГОНЕНКОВ, В. А. ДВУРЕЧЕНСКИЙ, А. Н. ДМИТРИЕВСКИЙ,
В. М. ДОБРЫНИН, Н. А. ЕРЕМЕНКО, В. И. ЕРМАКОВ,
И. П. ЖАБРЕВ, А. Н. ЗОЛОТОВ, К. А. КЛЕЩЕВ, Н. А. КРЫЛОВ,
О. Л. КУЗНЕЦОВ, Н. Н. ЛИСОВСКИЙ, М. С. МОДЕЛЕВСКИЙ,
И. И. НЕСТЕРОВ, Л. И. РОВНИН, Н. А. САВОСТЬЯНОВ,
В. В. СЕМЕНОВИЧ, Н. Н. СОХРАНОВ,
Ю. И. СЫСОЕВ (зам. гл. редактора), В. А. ТЕПЛИЦКИЙ,
акад. А. А. ТРОФИМУК, Э. М. ХАЛИМОВ, В. П. ЩЕРБАКОВ



МОСКВА «НЕДРА»

© Издательство «Недра»
«Геология нефти и газа»

УДК 552.578.2.061.4

М. Ю. ЗУБКОВ (СибНИИНП), Т. А. ФЕДОРОВА (МИНГ)

Гидротермальные вторичные коллекторы в черных сланцах

Разбуривание глубокозалегающих продуктивных горизонтов в пределах Западно-Сибирской плиты показало, что по мере приближения к фундаменту все большее значение в формировании вторичной емкости начинают приобретать гидротермальные процессы, развивающиеся вдоль тектонически ослабленных зон.

Анализ вещественного состава и структурно-текстурных особенностей черных сланцев, входящих в состав доюрского фундамента в пределах Северо-Варьеганского месторождения, показал, что формирование вторичного коллектора происходит в результате гидротермальной проработки исходных черных сланцев сначала за счет термического разложения, а затем окисления рассеянного в сланцах керогена, растворения и выноса из них карбонатных минералов. Суммарная величина вторичной пористости, возникающей в результате этих процессов, может достигать 30 % и более.

В пределах Северо-Варьеганского месторождения, расположенного к северу от Нижневартовского свода, в кровле палеозойского фундамента обнаружена залежь УВ. Она имеет субмеридиональное простирание, коллекторами являются сильно измененные светло-серые, почти белые породы, часто с брекчиевидной текстурой, обусловленной присутствием темных остроугольных обломков. Коллекторы состоят главным образом из кварца (85—95 %), глинистые минералы представлены каолинитом и диккитом (5—15 %) с явным преобладанием первого, а карбонатные — почти исключительно сидеритом (до 10 %).

Для описываемых коллекторов характерны повышенные (60 % и более) значения остаточной водонасыщенности, что приводит к резкому снижению фазовой проницаемости. Проницаемость бестрецинных разностей пород низкая, несмотря на очень высокую пористость, что свидетельствует о слабой взаимосвязи пор. Только в трещиноватых породах проницаемость резко увеличивается. В целом коллектор может быть охарактеризован как трещинно-каверново-поровый с явным преобладанием микропоровой емкости, заполненной преимущественно поровой водой, в то время как нефть содержится главным образом в более крупных порах, а также в кавернах и трещинах.

При микроскопическом исследовании этих пород обнаружены плохо сохранившиеся

остатки спикул и гемул губок, а также сильно измененные, перекристаллизованные и нацело заполненные халцедоновидным кварцем раковинки радиолярий. Поэтому существенно кварцевые породы-коллекторы могут быть отнесены с известной долей условности к спонголитам и (или) радиоляритам, которые входят в класс силицитов (Г. И. Теодорович, 1935 г.).

Анализ текстурно-структурных особенностей осветленных высокопористых кремнистых разностей (силицитов), а также их пространственных взаимоотношений с вмещающими палеозойскими породами свидетельствует о том, что они развиваются по кремнистым и карбонатно-кремнистым черным сланцам. Палеонтологические определения возраста последних, выполненные О. И. Богуш (ИГиГ СО АН СССР), показали, что по фораминиферам они могут быть отнесены к нижнекаменноугольным (визейский ярус). Черные сланцы и развитые по ним осветленные высокопористые породы перекрываются нижнеюрскими континентальными осадочными толщами.

Часто осветленные окремненные брекчиевидные разности образуются в гипергенных условиях вследствие выветривания исходных, в данном случае черносланцевых, толщ. Формируется кора выветривания, которая иногда может быть переотложенной. Осветленные высокопористые кремнистые породы могут образовываться и в результате низкотемпературного гидротермального воздействия на исходные черные сланцы кислородсодержащих кислых флюидов. Стратегия дальнейших поисков и разведки аналогичных коллекторов в пределах рассматриваемого месторождения, а также всего региона будет зависеть от того, какое происхождение имеют встреченные в кровле палеозойского фундамента Северо-Варьеганского месторождения осветленные кремнистые породы. Поэтому установление их генезиса имеет принципиальное не только научное, но и практическое значение.

Субмеридиональное простирание довольно узкой зоны, в пределах которой развиты осветленные разности, исключает возможность отнесения их к коре выветривания площадного типа [2]. Поскольку эти породы развиты в верхней части локального поднятия, можно утверждать, что они не являются продуктом переотложения или делювия того же типа коры выветривания,

так как делювиальные отложения накапливаются в отрицательных формах рельефа.

Возможны еще два механизма образования осветленных пород: во-первых, как продукт развития линейной коры выветривания и, во-вторых, как результат проработки исходных пород кислыми гидротермами вдоль разломов и ослабленных зон. И те и другие отложения имеют много общего, и их довольно сложно отличить друг от друга, особенно если в линейной коре выветривания выпадают некоторые зоны, например верхние. Действительно, эти породы развиваются в виде линейно-вытянутых зон, связанных, как правило, с разломами и (или) другими тектоническими нарушениями. Поскольку обе разновидности пород приурочены к зонам разломов, то можно допустить возможность комбинации обоих механизмов формирования коллектора. Однако решающим фактором возникновения высокопористых кремнистых коллекторов является именно вторичная гидротермальная проработка, так как сохранение столь значительной исходной пористости (возникшей в результате выветривания) на глубине около 3,5 км маловероятно. Кроме того, отсутствие зоны развития полуторных окислов и гидроокислов, высокое содержание кремнезема, а также спорадическое распространение разностей с брекчиевидной текстурой не позволяют отнести описываемые породы к продуктам коры выветривания линейного типа [2]. Поэтому остается предполагать, что они образовались в результате гидротермальной проработки исходных черных сланцев.

Нами были исследованы различные литологические разновидности неизмененных визейских черных сланцев глинистого, кремнистого и кремнисто-карбонатного состава, содержащих от 1,5 до 4,5 % РОВ. Сначала образцы были обработаны разбавленной соляной кислотой для растворения карбонатов, а затем прогреты в муфеле в кислородсодержащей среде до 400 °С для окисления ОВ сланцев. После этого определялись емкостные свойства измененных пород на РЭМ в МИНГе. При изучении пустотного пространства пород использовалась методика насыщения образцов люминифором [4].

Анализ изменения емкостных свойств исходных и искусственно осветленных пород показал, что минимальное увеличение пористости отмечается у существенно глинистых разностей черных сланцев в среднем от 2,5 (в исходных сланцах) до 4,5 % (в осветленных). Значительное повышение ее наблюдается при кислотном и термическом воздействии у карбонатно-кремнистых литологических типов в среднем от 2,6 до 22 %. Карбонатные разности черных сланцев после обработки рассыпаются в буроватый порошок, состоящий в основном из глинистых минералов, кремнезема и окислов

железа. Поэтому определить величину вторичной пористости $V_{\text{вт}}$ в них невозможно.

Следует отметить, что указанные обработки не приводили к полному осветлению черных сланцев, они становились красновато-бурыми из-за содержания окислов железа, возникших при окислении пирита, рассеянного в исходной породе. Тем не менее даже такое неполное осветление породы позволило установить ряд интересных фактов. Например, исходные, существенно глинистые разности черных сланцев с неясной слоистостью после обработки становились отчетливо слоистыми, имели таблитчатую текстуру и легко раскалывались на пластинки различной толщины (в среднем 1—5 мм). Оказалось, что черные карбонатно-кремнистые разности с однородной, массивной текстурой после обработки приобретали брекчиевидную текстуру, очень напоминающую таковую у осветленных высокопористых пород-коллекторов. Более светлая цементирующая масса рыхлая, пористая, а брекчиевидные обломки — немногим темнее, с меньшим числом пор и соответственно плотнее и крепче.

Таким образом, брекчиевидная текстура осветленных пород-коллекторов унаследована от исходных черных сланцев. В результате их тектонического дробления и гидротермальной проработки могут образоваться обломки второй генерации.

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что вторичная емкость $V_{\text{вт}}$ в осветленных породах формировалась главным образом за счет термодеструкции и окисления ОВ в сланцах и карбонатах. Тогда, зная плотностные характеристики основных четырех компонентов черных сланцев, легко вывести формулу для определения $V_{\text{вт}}$, если допустить полное окисление ОВ и разложение карбонатов

$$V_{\text{вт}} = \frac{M_k + 2,7M_{\text{ов}}}{1,08M_{\text{г.к}} + M_k + 2,7M_{\text{ов}}} \cdot 100 \%,$$

где M_k , $M_{\text{ов}}$, $M_{\text{г.к}}$ — массы соответственно карбонатов, ОВ и суммы глинистых минералов и кремнезема. Чтобы наглядно представить себе характер зависимости $V_{\text{вт}}$ от содержания ОВ и карбонатов, составлена блок-диаграмма (рис. 1). Эти значения наиболее характерны для черных сланцев. По диаграмме легко определить примерный состав исходного черного сланца, из которого впоследствии образовался высокопористый коллектор. Например, если ОВ в исходном образце составляет около 3, а пористость 33, то концентрация карбонатного материала около 28 %.

Значения максимальной пористости у осветленных пород, не превышающие 35 %, позволяют предполагать, что высокая пористость не может сохраняться в этих породах. Это обусловлено их прочностными свойствами. Поэтому после выщелачива-

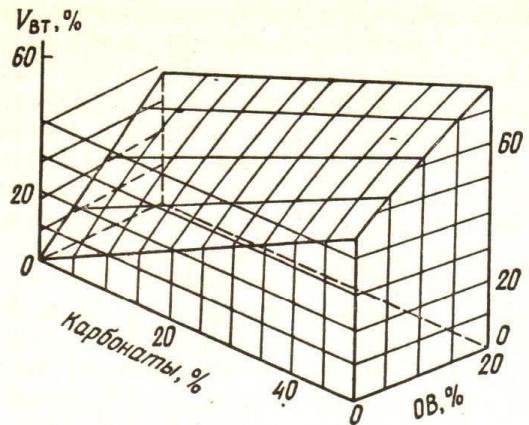


Рис. 1. Диаграмма для определения величины вторичной пористости V_{bt} , формирующейся в гидротермальных силицизатах в зависимости от содержания в них ОВ и карбонатов

ния основной массы карбонатов (при неизменной концентрации ОВ) происходит обрушение пород в выщелоченную зону, и в ней могут возникать своеобразные брекчие-видные участки, не связанные с тектоническим дроблением.

Изучение микроструктуры поверхности сколов и срезов исходных черных сланцев, появившихся после кислотной и термической обработок искусственных коллекторов и осветленных высокопористых пород-коллекторов, на РЭМ показало, что исходная карбонатно-кремнистая разность черного сланца имеет однородную микро-

комковатую поверхность с небольшим числом микропор диаметром 1—4 мкм и общей пористостью 2,6 % (рис. 2, а). Искусственный коллектор, полученный из этого же образца, имеет микропористую структуру, размеры пор изменяются в широких пределах — от 2 до 80 мкм, общая пористость составляет 22 % (рис. 2, б).

При сравнении микроструктуры сколов и срезов искусственного и природного коллекторов установлено, что в общих чертах они очень похожи: и тот и другой обладают высокой пористостью и широким спектром размеров пор (рис. 2, б, в). Однако имеются и существенные различия. Так, если искусственный коллектор сложен в основном скрытокристаллическим кремнеземом, то природный — микрокристаллическим кварцем с размерами отдельных кристаллов от 1 до 20 мкм, в промежутках между которыми и в порах отмечаются крупные, хорошо ограненные микрокристаллы каолинита и диккита (рис. 2, г). Тот факт, что высокопористый кремнистый коллектор состоит из микрокристаллов кварца, достигающих в крупных порах и кавернах размеров до 1—2 мм, а также присутствие наряду с каолинитом диккита с совершенной кристаллографической огранкой однозначно указывают на то, что эти породы являются продуктом низкотемпературной гидротермальной проработки исходных черных сланцев [1].

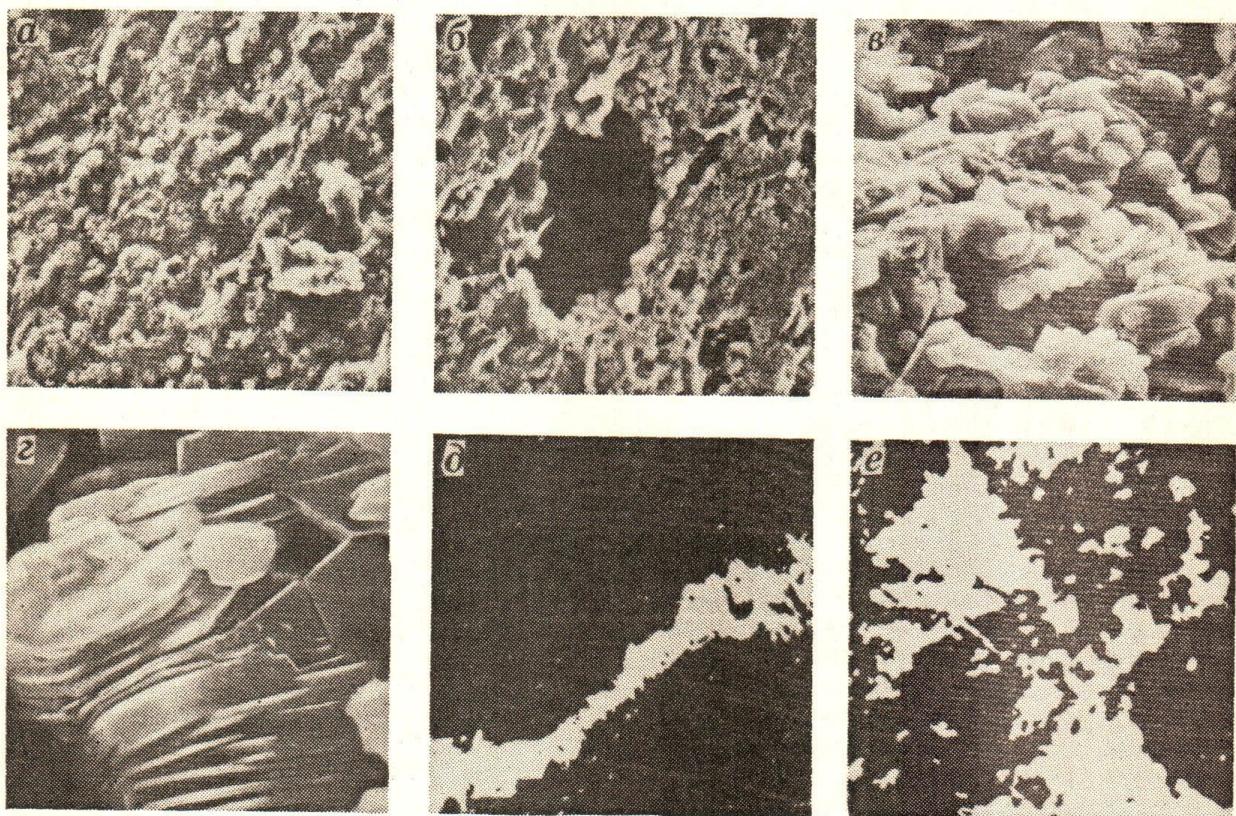


Рис. 2. Поверхности спилов и сколов образцов исходного нижнекаменноугольного (виде) карбонатно-кремнистого черного сланца (а), искусственного коллектора, полученного из этого же образца (б), гидротермальных силикатов (в, г), пропитанных люминофором образцов искусственного коллектора (д) и гидротермального силикита (е)

Чтобы объяснить, с чем связаны высокая (до 60 %) водонасыщенность осветленных пород-коллекторов, а также довольно низкая проницаемость, несмотря на высокую пористость, они были пропитаны люминофором и исследованы на РЭМ (рис. 2, д, е). Поскольку люминофор пропитал лишь сообщающиеся поры и каверны, светлые пятна на снимках соответствуют не общей, а лишь открытой пористости образцов.

При высокой общей пористости открытая заметно меньше, особенно в искусственном коллекторе (см. рис. 2, д). Значительная часть ее представлена мелкими порами (2—40 мкм), самые мелкие насыщены водой, что и обусловливает высокую остаточную водонасыщенность коллекторов (см. рис. 2, д, е). Более крупные поры, 0,1—0,5 мм (см. рис. 2, е), а также каверны и трещины (раскрытостью до нескольких миллиметров) заполнены нефтью. Близкий характер распределения пор в искусственном и природном коллекторах указывает на правомочность сделанного предположения относительно механизма формирования коллектора в кровле палеозойского фундамента Северо-Варьеганского месторождения.

Таким образом, осветленные высокопористые кремнистые породы, образовавшиеся по черным карбонатно-кремнистым сланцам в результате проработки последних кислыми кислородсодержащими гидротермами, могут быть названы гидротермальными силицитами.

Исходя из вышеизложенного, механизм формирования высокопористого кремнистого коллектора, развитого в пределах кровли палеозойского фундамента Северо-Варьеганского месторождения, можно представить себе следующим образом. Вдоль тектонически ослабленных зон (трещины, разломы и их системы) поступали кислые кислородсодержащие низкотемпературные гидротермы, которые способствовали выщелачиванию из черных сланцев карбонатных минералов, а также части неустойчивых в этих условиях глинистых минералов (хлорит, монтмориллонит), осветлению этих пород вследствие окисления содержащегося в сланцах РОВ, перекристаллизации исходного скрытокристаллического кремнезема в микрокристаллический кварц и отложению гидротермальных каолинита и диккита [1]. Имевшийся в сланцах пирит окислялся, а продукты окисления, взаимодействуя с растворенными в гидротермальном растворе углекислотой и кальцием, образовали сидерит (сферосидерит) и гипс.

Зоны развития вторичных высокопористых кремнистых пород (гидротермальных силицитов) надежно выделяются по результатам сейсморазведки (на основании анализа временных разрезов). По данным В. В. Кирсанова (ЦГЭ), они имеют северо-западное простирание и представляют со-

бой длинные, узкие зоны, параллельные друг другу. На временных разрезах участки развития гидротермальных силицитов выделяются по увеличению расстояния (времени прохождения волны) между границами отражений от базальных слоев нижнеурских отложений и не измененных вторичными процессами пород доюрского фундамента.

На основании данных детальной площадной сейсморазведки (В. В. Кирсанов, ЦГЭ; Н. М. Белкин, Л. Б. Трусов, Тюменнефтегеофизика) в области развития гидротермальных силицитов отмечается большое количество разрывных нарушений различного возраста. Наряду с древними (не выходящими за пределы развития гидротермальных силицитов) зафиксированы более молодые, а также долгоживущие разломы, проникающие в верхнеурские отложения, причем часть из них выходит на дневную поверхность и хорошо видна на космоснимках.

Гидротермальные силициты (высокопористые кремнистые породы) в пределах отмечаемых на временных разрезах зон увеличения временной задержки отражений от кровли и подошвы пласти имеют такой же характер записи, как и углистые пласти, и располагаются в центральной части этих зон. Схожие формы записи отражений от углистых пластов тюменской свиты и гидротермальных силицитов обусловлены главным образом близкими их акустическими свойствами. И углистые пласти, и гидротермальные силициты имеют низкую акустическую жесткость, обусловленную их малой плотностью.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что поиски УВ-залежей в кровле палеозойского фундамента, подобных открытому в пределах Северо-Варьеганского месторождения, следует вести вдоль крупных разломов (линеаментов), пересекающих палеозойские черносланцевые толщи карбонатно-кремнистого и кремнистого состава, которые достаточно широко распространены в фундаменте Западно-Сибирской плиты [3]. Исходя из общих закономерностей строения фундамента плиты, можно предположить, что наиболее перспективные участки будут иметь вид узких, длинных зон, скорее всего субмеридионального простирания, протяженностью до 1000 км и более. Залежи, вероятно, небольших размеров, с упругозамкнутым режимом (что доказывается, например для Северо-Варьеганского месторождения, результатом пробной эксплуатации), а в ряде случаев, когда на этих породах непосредственно залегают песчаные или песчаногравелитовые базальные нижнеурские толщи, могут иметь общий с ними ВНК.

Возможно, нефтяные залежи, открытые в кровле палеозойского фундамента в Томской области (Калиновое, Верхнедемьянов-

ское и др.) и приуроченные к высокопористым кремнистым коллекторам, аналогичным описанным выше, расположены на продолжении единой субмеридиональной разломной зоны, протягивающейся на расстояние 500 км. [3].

Выводы

1. В кровле палеозойского фундамента Северо-Варзеганского месторождения встречены осветленные высокопористые кремнистые породы, содержащие УВ-залежь, которые по ряду признаков могут быть отнесены к гидротермальным силицитам, образовавшимся в результате низкотемпературной гидротермальной проработки исходных черных сланцев преимущественно карбонатно-кремнистого состава.

2. Вторичная емкость в гидротермальных силициатах формируется за счет разложения и окисления РОВ и растворения карбонатных минералов, входивших в состав исходных черных сланцев.

3. Зоны развития гидротермальных силикатов надежно выделяются по данным сейсморазведки.

4. Поиски УВ-залежей, связанных с гид-

ротермальными силицитами, следует вести в зонах, сопряженных с тектоническими разломами, пересекающими карбонатно-кремнистые разновидности черных сланцев.

5. УВ-залежи в гидротермальных силициатах, по-видимому, должны иметь линейную или удлиненную форму, контролируемую элементами простирания разрывных нарушений, небольшие запасы, высокую остаточную водонасыщенность и упругозамкнутый режим пласта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волостных Г. П. Аргиллизация и оруденение.— М.: Недра.— 1972.
2. Гинзбург И. И. Типы древних кор выветривания, формы их проявлений и классификация.— Кора выветривания.— М.: Наука.— 1963. — Вып. 6.
3. Мегакомплексы и глубинная структура земной коры Западно-Сибирской плиты / Под ред. В. С. Суркова — М.: Недра.— 1986.
4. Кузьмин В. А. Методика изучения пустотного пространства пород-коллекторов в растровом электронном микроскопе // — В кн.: Коллекторы нефти и газа на больших глубинах (Тез. докл. IV Всесоюз. конф. 24—26 марта 1987 г.) — М.— 1987.— С. 194—196.

УДК 552.578.2.061.4:551.73 (470.67)

Т. Г. ЖГЕНТИ (ИГ Даг. ФАН СССР), В. В. ХОЛОДИЛОВ,
Л. В. КРЫСАНОВА (ДУГР Грознефтегеофизики)

Генезис и коллекторские свойства продуктивных палеозойских пород Дагестана

В Равнинном Дагестане на Юбилейном месторождении впервые на глубинах более 4500 м в палеозойских породах фундамента обнаружены залежи нефти. Породы представлены пачкой трещиноватых кварцевых роговиков, образующих Юбилейно-Таловское поднятие. Контактируя с нефтенасыщенными кавернозно-пористыми доломитами нижнего триаса, они составляют единый нефтегазовый резервуар, перекрываемый флюидоупорными кремнисто-глинистыми отложениями демьяновской свиты.

В связи с этим изучение генезиса и коллекторских свойств пород для прогноза нефтегазоносности палеозойского фундамента приобретает важное значение. Для решения этих задач использованы результаты исследования геолого-геофизического и каменного материала по 74 скважинам Северного Дагестана, вскрывшим фундамент на глубину от нескольких метров до 560 м. Изучено более 1600 петрографических шлифов, выполнено 78 комплексных петрографических и петрофизических исследований роговиков из восьми скважин

на Юбилейном месторождении.

В его строении принимают участие палеозойские метаморфические породы фундамента, представленные чередованием тонколистовых зеленых сланцев мощностью 0,5—20 м и массивных кварцевых роговиков (10—25 м), залегающих под углом 20—40°. УЭС их варьирует в широких пределах: от 20 до 2000, реже до 7000 Ом·м, кривая ПС слабо дифференцирована. Роговики в отличие от сланцев чаще характеризуются аномально высокими (5—8 усл. ед.) значениями НГК и 3—13 мкР/ч по ГК. Роговики, по данным ГИС, существенно отличаются по физическим свойствам.

На поверхности палеозойских пород фундамента со стратиграфическим перерывом залегают доломиты перми-нижнего триаса мощностью от 0 до 80 м, которые, по ГИС, характеризуются как пористые, т. е. имеют высокие (до 100 мВ) аномалии ПС, низкие значения ГК (3—6 мкР/ч) и НГК (2—4 усл. ед.), близкий к номинальному диаметр скважины. УЭС пород изменяется от 10 до 200 Ом·м.