

ГЕОЛОГИЯ  
И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ  
НИЖНИХ ГОРИЗОНТОВ ЧЕХЛА  
ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ  
ПЛИТЫ

Учитывая широкое развитие в районе терригенно-карбонатных отложений палеозоя, аргиллиты тогурской свиты следует рассматривать как возможную покрышку, способную удержать палеозойскую нефть (не забывая при этом, что нефтегенерирующие свойства самих тогурских аргиллитов тоже достаточно высоки). Таким образом, наиболее перспективным для поисков залежей УВ в нижнеюрских отложениях является участок к северо-востоку от Дедовских скважин, вплоть до Восточных и Касманских.

Проведенный анализ материалов сейсморазведки и бурения дает основу для дальнейшего применения принципов и методов сейсмостратиграфии с целью более подробного изучения геологического строения региона, оценки его нефтеперспективности и более рационального размещения нефтепоисковых работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вышемирский В.С., Запивалов Н.П. Нефтегазоносность палеозоя юго-востока Западно-Сибирской плиты // Нефтегазоносность Сибири и Дальнего Востока. - Новосибирск:Наука, 1981. - С. 90-105.
2. Геология нефти и газа Западной Сибири // А.Э. Конторович, И.И. Несторов, Ф.К. Салманов и др. - М.: Наука, 1975. 680 с.
3. Коротодин Ю.И., Гайдебурова Е.А. Системные исследования слоевых ассоциаций нефтегазоносных бассейнов (по комплексу промыслового-геофизических данных). - Новосибирск: Наука, 1985. - 112 с.
4. Кунин Н.Я. Современное состояние сейсмостратиграфии и проблемы ее использования при изучении нефтегазоносности Западной Сибири (полемические заметки) // Сейсмостратиграфические исследования при поисках месторождений нефти и газа. - Алма-Ата, 1988. - С. 139-158. (Матер. всесоюз. совещ., сб. докл.).
5. Сейсмическая стратиграфия / Р.Е. Шериф, А.П. Прегори, П.Р. Вейл и др. - М.: Мир, 1982. - 846 с.
6. Сейсмогеологический анализ нефтегазоносных отложений Западной Сибири / О.М. Мкртчян, Л.Л. Трусов, Н.М. Белкин, В.А. Дегтев. - М.: Наука, 1987. - 120 с.
7. Стратиграфия и палеогеография ранней и средней юры Западно-Сибирской плиты / Ф.Г. Гурари, И.В. Будников, В.П. Девятов и др. // Региональная стратиграфия нефтегазоносных районов Сибири. - Новосибирск, 1988.

8. Сурков В.С., Жеро О.Г. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. - М.: Недра, 1981.- 140 с.

9. Сурков Ю.Н. Строение верхнеюрско-нижнемеловых отложений севера Западной Сибири по данным региональных работ МОГТ // Методы оптимизации сейсморазведки на севере Западной Сибири. - Тюмень, 1983. - С. 92-95. (Тр. ЗапсибНИГНИ, вып. 182).

#### М.Ю. Зубков

##### ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ СИЛИЦИТЫ-ПЕРСПЕКТИВНЫЙ НЕФТЕГАЗОПОИСКОВЫЙ ОБЪЕКТ ДОЮРСКОГО ФУНДАМЕНТА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

Для увеличения темпов прироста запасов углеводородного сырья необходима оценка нефтегазоносности доюрского комплекса Западно-Сибирской плиты.

Анализ имеющегося литолого-петрофизического и углепетрографического материала показал, что осадочные породы доюрского фундамента (ДФ) палеозойского, а в ряде случаев пермо-триасового возраста, в большинстве случаев сильно преобразованы. Судя по высокой степени метаморфизма рассеянного в них органического вещества (ОВ), как правило, от Т до А (за исключением ряда периферийных районов), а также низкой пористости (в среднем 4-6 %), можно заключить, что они побывали на глубинах до 8-10 км, практически реализовали свой нефтегенерационный потенциал, уплотнились и перешли в класс неколлекторов.

Таким образом, существование первичных коллекторов в ДФ в большинстве случаев невозможно, и перспективы нефтегазоносности этих пород следует связывать лишь со вторичными коллекторами. Одним из возможных типов вторичных коллекторов являются гидротермальные силициты (ГС), развивающиеся по кремнисто-карбонатным черным сланцам и близким к ним кремнистым известнякам в результате воздействия на них гидротермальных растворов, проникающих по зонам дробления в фундаменте.

В настоящее время в ДФ Западно-Сибирской плиты ГС встречены на 13 площадях, основная часть которых располагается в юго-восточной части плиты (рис. I,a). Тот факт, что основная часть ГС обнаружена на территориях Омской, Томской и Новосибирской областей (З.Я. Сердюк, ПГО "Новосибирскгеология"), объясняется главным образом лучшей изученностью ДФ на этих площадях. По мере разбу-

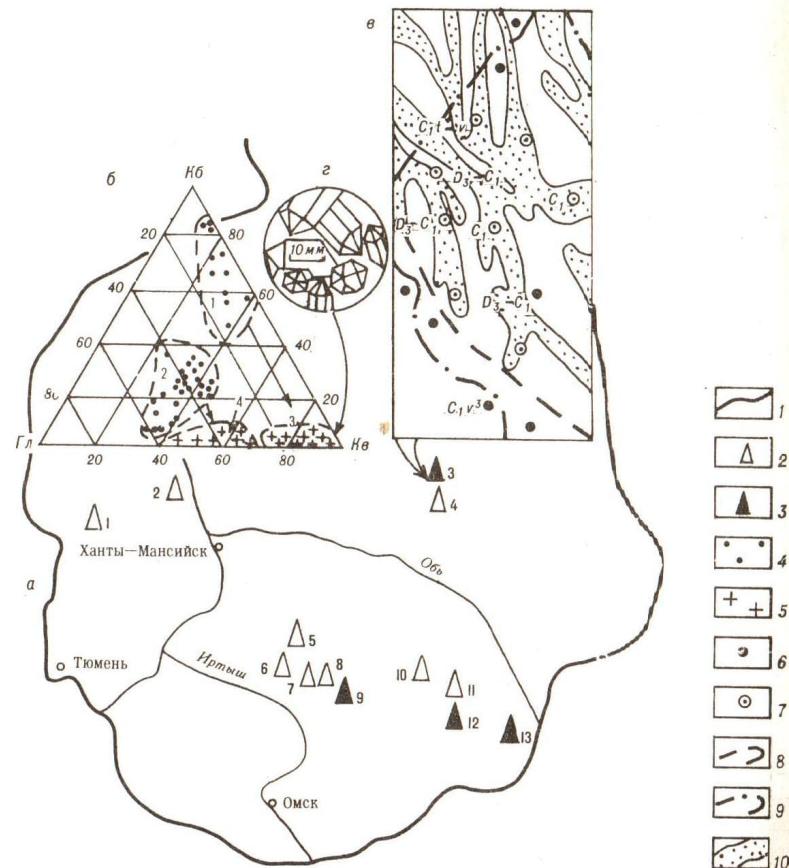


Рис. I. Схема расположения месторождений, в пределах которых в составе фундамента встречены гидротермальные силициты в аргиллит-силицииты (а), литологический треугольник (б), схема прогностируемых зон развития гидротермальных силициитов (ГС) и аргиллит-силициитов (ГАС) в пределах Северо-Варьеганского месторождения (в), зарисовка с фотографии РЭМ образца ГС (г).

I – внешний контур Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции; месторождения, в пределах которых в фундаменте плиты встречаются ГС и ГАС, содержащие: 2 – воду, 3 – углеводородную залежь; фигуративные точки, отвечающие составам: 4 – неизменных кремнистых известняков (1-й литотип) и черным сланцам (2-й литотип); 5 – ГС (3-й литотип) и ГАС (4-й литотип), стрелками показаны направления изменений литологического состава исходных пород в результате гидротермальной проработки; расположение палеозойских скважин в пределах Северо-Варьеганского месторождения: 6 – "сухие", 7 – продуктивные (рядом со скважинами указан возрастной интервал пород фундамента, вскрытых ими); 8 – граница, по которой происхо-

ривания ДФ в пределах Тюменской области, несомненно, будут выявлены новые территории, на которых будут встречены ГС.

Известные в настоящее время ГС развиты по кремнистым сланцам и кремнистым известнякам верхнедевонского и нижнекарбонового возраста (см. рис. I, а). Из всех изученных к настоящему времени УВ-зональей, содержащихся в ГС, наиболее детально изучено Северо-Варьеганское газоконденсатное месторождение.

Вещественный состав пород фундамента на этой площади исследовался комплексом физических и химических методов, включая рентгеноструктурный анализ, ИК-спектроскопию, дериватографию, оптическую микроскопию, химический и спектральный анализы.

Петрофизические исследования проводились под руководством В.Т.Питкевича на стандартном оборудовании с определением пористости ( $K_{\Pi}$ ), проницаемости ( $K_{\text{пр}}$ ), остаточной водонасыщенности ( $K_B$ ) и плотности ( $\sigma$ ).

Результаты химического анализа с помощью оригинальной программы пересчитывались на ЭВМ в минеральный состав. Полученные данные, с целью выделения различных литотипов, наносились в виде фигуративных точек на литологический треугольник, в вершинах которого помещались: суммы глинистых (Гл) и карбонатных (Ка) минералов, а также кварца с полевыми шпатами (Кв).

Возрастные определения были выполнены по фораминиферам О.И.Богуш и В.О.Юферевым (ИГиГ СО АН СССР). Интерпретация результатов сейсморазведки МОВ ОГТ выполнена В.В.Кирсановым (ЦГЭ).

Из 15 пробуренных в пределах месторождения скважин, в которых был отобран керн из кровли фундамента, детально было изучено II. Всего различными физическими и химическими методами было проведено около 1 тыс. анализов.

Рентгеноэструктурные исследования проводились В.Я.Чухланцевой, а расчеты на ЭВМ – О.Ф.Спицыной, за что автор им искренне признается.

ДФ Северо-Варьеганского месторождения сложен изверженными и осадочными породами. Изверженные породы представлены долеритами и диабазами, в той или иной степени карбонатизированными и изменен-

дит смена литологических типов пород (объяснение в тексте); 9 – предполагаемая граница водо-газоконденсатного контакта; 10 – прогнозируемые зоны развития ГС и ГАС. Цифрами обозначены месторождения: 1 – Северо-Даниловское, 2 – Талинское, 3 – Северо-Варьеганское, 4 – Варьеганское, 5 – Южно-Демьянское, 6 – Туйское, 7 – Когитское, 8 – Восточно-Когитское, 9 – Ягыл-Яхское, 10 – Тамбаевское, 11 – Западно-Останинское, 12 – Северо-Калиновое, 13 – Восточное

90 ными наложенными процессами. Обе разновидности изверженных пород обладают низкими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС). Так, пористость изменяется в пределах 1-8 %, а проницаемость составляет десятые и сотые доли  $\text{м}^2$ . Эти породы не относятся к классу коллекторов.

Осадочные породы ДФ также представлены двумя типами - неизмененными черными кремнистыми сланцами и темно-серыми кремнистыми известняками преимущественно нижекарбонового возраста и измененными - осветленными высокопористыми кремнистыми породами, развивающимися по исходным черным сланцам и кремнистым известнякам.

Анализ характера распределения фитогравитивных точек внутри литологического треугольника показал, что среди них отчетливо выделяются четыре литологических типа.

Первый тип представляет собой серые, до темно-серых, кремнистые известняки, чаще с массивной текстурой, в которых встречаются спикулы и гемулы губок, радиолярии, членики криноидей, остраракоды, тентакулиты, а также остатки известковистых водорослей. Поверхности и "зеркала" скольжения в них встречаются редко, зато весьма характерны субвертикальные трещины, заполненные белым кальцитом. Слоистость отмечается редко, и угол ее наклона обычно не превышает 20-35°. Основными пордообразующими компонентами являются карбонатные минералы (45-92 %), биогенный кремнезем (3-43 %) и глины (5-16 %) (табл. I). Из карбонатных минералов преобладает кальцит, доломита заметно меньше (до 12 %), а концентрация сидерита не превышает 1,6 %. Среди глинистых минералов основным является иллит (почти до 19 %), заметно содержание пирита (до 6,3 %), а содержание ОВ не превышает 2,6 % (см. табл. I). На литологическом треугольнике этому литотипу отвечает облако точек I (см. рис. I, б).

Второй литотип, именуемый карбонатно-кремнисто-глинистым (на литологическом треугольнике ему отвечает вторая группа точек), включает в себя черные сланцы и близкие к ним разновидности существенно глинистых пород, обогащенных ОВ. Этот литотип представлен темно-серыми (до черных) слоистыми, реже массивными породами с редкими остатками фауны, с многочисленными поверхностями и "зеркалами" скольжения, часто очень круто наклоненными (до субвертикальных), иногда с трещинами, заполненными белым кальцитом. Преобладающими в них являются глинистые минералы (31,5-60,5 %), немного ниже концентрация биогенного кремнезема (22-45 %) и меньше всего карбонатов (4,9-36,6 %), среди которых преобладают сидерит (до 25 %) и кальцит (до 23 %) (см. табл. I). Этот литотип

91 содержит максимальное количество пирита (до 10,5 %), встречающееся как в тонкодисперсном, так и в концентрированном виде (псевдоморфозы, стяжения), а также ОВ до 4,7 % (см. табл. I).

Оба литотипа обладают низкими ФЕС: пористость обычно не превышает 4-6 %, а проницаемость - 0,05-0,07  $\text{м}^2$ . Они не являются коллекторами.

Освещенные разности также представлены двумя литотипами. Первый, отвечающий третьей группе точек на литологическом треугольнике (см. рис. I, б), представлен белыми брекчевидными, реже слоистыми породами, в которых отмечаются остатки спикул и гемул губок, радиолярии, вероятно, остатки трубчатых водорослей и т.п. В крупных порах, кавернах и трещинах встречены микрокристаллы водяно-прозрачного кварца, размеры которых достигают 0,5-1,0 мм, а также серебристо-белые идиоморфные, с упорядоченной кристаллической структурой, крупные кристаллы диккита и их агрегаты. Исследования под растровым электронным микроскопом (Г.А.Федорова, МИНР) показали, что этот литотип представлен "ажурной" конструкцией, состоящей из переплетений микрокристаллов кварца (см. рис. I, г), в промежутках между которыми отмечаются идиоморфные кристаллы диккита, каолинита и мусковита или иллита. Основным породообразующим компонентом является микрокристаллический кварц (83-95 %), глинистых минералов заметно меньше (1,6-22 %), а концентрация карбонатов не превышает 9 % (см. табл. I), причем карбонаты представлены почти исключительно сфераудитом. Полевые шпаты и ОВ отсутствуют, пирит встречается в следовых концентрациях, содержание хлорита редко достигает 1-2 %, а чаще он также полностью отсутствует. Описываемый литотип назван "силицитом", что подчеркивает биогенный источник кремнезема в нем (Г.И.Теодорович, 1935).

Второй из освещенных литотипов, отвечающий четвертой группе точек в поле литологического треугольника (см. рис. I, б), представлен светло-серыми (до белых) слоистыми породами с бурьими микросферолитами сидерита. Они сложены главным образом биогенным микрокристаллическим кварцем (47-73 %), глинистыми минералами (15-52 %) и сфераудитом (0,5-11,2 %). Кальцит, доломит, ОВ, пирит и полевые шпаты практически отсутствуют, а содержание хлорита не превышает 2,7 %. Этот литотип назван аргиллит-силицитом.

Оба литотипа обладают высокими ФЕС. Пористость изменяется от 8-12 % до 21-34 %, а проницаемость достигает 2,5-295  $\text{м}^2$ . Максимальные ФЕС имеют силициты, для аргиллит-силицитов характерны более низкие значения ФЕС. Наиболее проницаемые трещиноватые разновидности, т.е. фильтрационные свойства пород определяются глав-

92ным образом трещиноватостью. Силициты и аргиллит-силициты имеют низкую плотность, достигающую 1,16–1,80 г/см<sup>3</sup> и тесно коррелирующую с пористостью. Огромная удельная поверхность силицитов и аргиллит-силицитов обусловливает высокие значения остаточной водонасыщенности, составляющей в среднем около 50–60 %.

Описываемые коллекторы относятся к трещинно-кавернозно-поровому типу, их емкостные свойства обусловлены главным образом порами и кавернами, а фильтрационные – трещинами.

Следует отметить, что кремнистые известняки и развивающиеся по ним силициты с прослойками аргиллит-силицитов приурочены к наиболее приподнятой центральной части месторождения и вытянуты в северо-западном направлении. Они, как правило, имеют более древний возраст ( $D_3-C_1-v-t$ ), чем черные сланцы ( $C_1-v^3$ ), развитые в южной и юго-западной части месторождения (см. рис. I,в). Тот факт, что слоистость, отмеченная в кремнистых известняках, имеет небольшие углы наклона в отличие от черных сланцев, для которых характерны крутонаклонная слоистость и поверхности скольжения (до субвертикальных), свидетельствует о том, что кремнистые известняки слагают приподнятые более древние блоки, в пределах которых открывавшие их черные сланцы размыты. Последние встречаются лишь на бортах, в местах погружений девон-карбоновых отложений.

Анализ вещественного состава выделенных литотипов и их взаимоотношений указывает на то, что осветленные высокопористые разновидности развиваются по исходным кремнистым известнякам и черным сланцам. Присутствие в них таких минералов, как высокоупорядоченные диккит, мусковит, а также микро- и мелкокристаллический кварц, указывает на возможность их возникновения в результате гидротермальной проработки исходных кремнистых известняков и черных сланцев, причем воздействие гидротерм происходило в мезозойское или даже кайнозойское время.

Литологические исследования керна показали, что зона измененных (осветленных) пород часто проникает в раннеюрские ( $J_1-p$ ) фангломераты, залегающие непосредственно на осветленных палеозойских сланцах или кремнистых известняках. При этом наблюдается постепенный переход совершенно белых фангломератов, залегающих на таких же белых силицитах (аргиллит-силицитах), через более серые, затем темно-серые, в неизмененные, почти черные фангломераты с углисто-глинистым цементом.

Рассмотрим переходную зону более подробно на примере интервала, вскрытого скв. ГОП (рис. 2). Образец "г", отобранный из са-

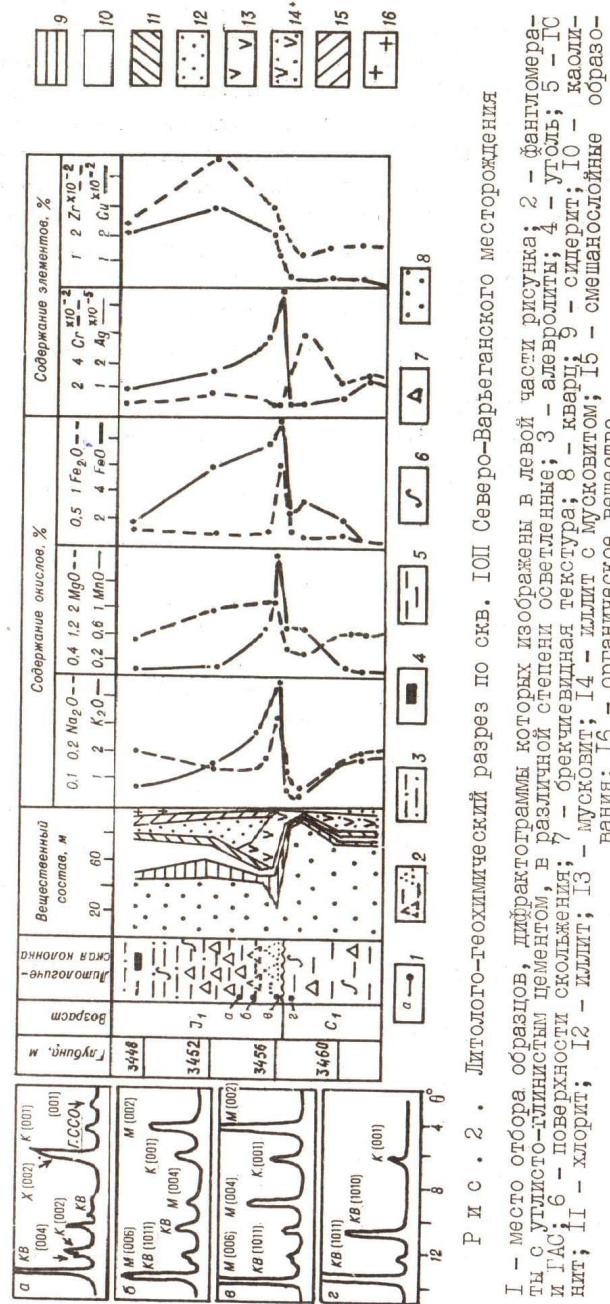


Рис. 2. Литолого-geoхимический разрез по скв. ГОП Северо-Варъятанского месторождения

1 – место отбора образцов, для которых изображены в левой части рисунка в различной степени освещенности; 2 – фангломераты с углисто-глинистым цементом, в различной степени освещенности; 3 – алевролиты; 4 – доломиты; 5 – утоль; 6 – поверхности скольжения; 7 – брекчииевидная текстура; 8 – кварт; 9 – сидерит; 10 – каолин; 11 – глинистый; 12 – хлорит; 13 – иллит; 14 – мусковит; 15 – иллит с мусковитом; 16 – органическое вещество

94 мой кровли палеозойского фундамента, представлен силицитом (третий литотип), состоящим из кварца с небольшой примесью каолинита и сфераосидерита. Белый (осветленный) фангломерат из самой подошвы раннеюрских отложений (образец "в") сложен главным образом хорошо окристаллизованным с упорядоченной структурой мусковитом, кварцем, каолинитом и сфераосидеритом. Светло-серый фангломерат (образец "б") содержит уже небольшое количество гидротермального мусковита, а в неизмененном темно-сером, до черного, фангломерате (образец "а") мусковит полностью отсутствует, зато вместо него появляется хлорит, смешанослойные образования (ССО), гидрослюды и каолинит. Зона осветления (гидротермальной проработки) в подошве раннеюрских отложений составляет около 2 м (см. рис. 2).

Таким образом, под действием кислых гидротерм происходит замещение неустойчивых глинистых минералов (хлорита, ССО, гидрослюды и отчасти каолинита) мусковитом.

Анализ изменений содержания некоторых окислов и микроэлементов в пределах переходного интервала показал, что на границе палеозойских и раннеюрских пород в результате гидротермальной проработки отмечается их перераспределение. Так, в подошве раннеюрских отложений фиксируется максимальное содержание ряда элементов, выносимых, вероятно, гидротермами из палеозойских пород. Отмечается обогащение раннеюрских фангломератов калием (мусковитизация), натрием, марганцем, железом, серебром, медью, цирконием и некоторыми другими элементами. Напротив, содержание хрома резко уменьшается, и в подошве раннеюрских отложений отмечается явный минимум его концентрации (см. рис. 2).

Интересно, что если ряд элементов "садится" прямо на контакте юрских и палеозойских пород, то другие (например, медь, цирконий, отчасти железо и др.) выносятся гидротермами выше и дают максимальные концентрации на удалении 4–5 м от контакта разновозрастных пород (см. рис. 2).

Обогащение раннеюрских фангломератов железом, марганцем и магнием происходит за счет отложения здесь их карбонатов (например, сфераосидерита и родохрозита), халькофильные элементы отлагаются преимущественно в виде сульфидов. Фангломераты вследствие повышенного содержания в них ОВ, достигающего 5–8 % и более, являются геохимическим барьером для поднимающихся гидротерм.

Обратное, по сравнению с другими элементами, поведение хрома, вероятно, объясняется тем, что он не выносится из кремнистых известняков и черных сланцев, а остается в них и концентрируется

Таблица 1

Вещественный состав литологических типов осадочных пород, слагающих доюрский комплекс фундамента Северо-Варъеганского месторождения

Литологический тип	Пределы концентраций основных пордообразующих компонентов и минералов, %													
	Суммарное содержание			Кварц	Кальцит	Доломит	Сидерит	Каолинит (диккит)*	Хлорит	Иллит (мусковит)*	Смешано-слойные образования	Пирит	Полевые шпаты	Органическое вещество
	кварца и полевых шпатов	карбонатных минералов	глинистых минералов											
Неизмененные черные сланцы и кремнистые известняки														
1. Кремнисто-карбонатный	3,0-43,0	45,0-91,7	5,0-16,0	2,9-37,5	14,7-88,3	1,0-12,0	0,3-1,6	0-5,6	0-2,5	1,0-18,9	1,5-4,5	0,2-6,3	0-3,5	0,2-2,6
2. Карбонатно-кремнисто-глинистый	22,3-45,0	4,9-36,6	31,5-60,5	21,0-39,0	2,5-23,0	0,2-II,2	0,5-25,0	6,4-21,2	0-II,5	2,9-28,6	3,5-I0,0	I,9-I0,5	0,7-8,2	0,5-4,7
Осветленные высокопористые кремнистые разности														
3. Силициты	82,7-95,2	I,4-8,8	I,6-22,4	8I,9-94,5	0-0,7	0-0,8	0,3-8,6	0-4,2	0-2,0	0,5-18,0	0-4,2	0-0,2	0	0
4. Аргиллит-силициты	46,8-72,8	0,5-I2,7	15,2-51,6	46,5-72,5	0-0,8	0-I,4	0,5-II,2	0-6,8	0-2,7	5,2-36,7	3,2-8,5	0-0,2	0	0

\* Диккит и мусковит встречаются лишь в осветленных высокопористых разностях.

Таблица 2

Содержание некоторых окислов и элементов в различных литологических типах осадочных пород, слагающих доюрский комплекс фундамента Северо-Варъеганского месторождения

Литологический тип	Пределы концентрации некоторых окислов ( $\cdot 10^{-2}$ , %) и элементов ( $\cdot 10^{-3}$ , %)											$\cdot 10^{-5}$ , % Ag		
	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	Cu	Zn	Ст	Ni	Pb		
Неизмененные черные сланцы и кремнистые известняки														
1. Кремнисто-карбонатный	4-87	5-54	33-120	I-4	I-4II	27-71	5-33	3-30	4-10	I-20	0,8-40	0,6-I	3-8	0,4-0,8
2. Карбонатно-кремнисто-глинистый	33-263	9-65	45-340	2-38	I7I-662	57-910	55-156	3-30	6-30	4-I0	4-60	0,8-5	2-20	0,6-3
Осветленные высокопористые кремнистые разности														
3. Силициты	6-II2	4-I6	I0-79	2-98	I-I03	36-330	4-26	2-6	3-60	8-60	0,5-I0	0,2-3	5-80	0,3-I0
4. Аргиллит-силициты	50-392	7-27	25-129	3-70	0-47	20-754	18-91	3-40	3-15	6-30	I-30	0,6-I0	6-40	0,6-I0

вследствие выщелачивания из них наиболее растворимых компонент (в 95 первую очередь карбонатов). Напротив, содержащийся в раннеюрских фангломератах хром "разбавляется" минеральными новообразованиями: отложением сферосидерита, родохрозита, доломита, мусковита и т.п.

Анализируя в целом изменения в минеральном и элементном составах исходных палеозойских кремнистых известняков и черных сланцев и возникающих по ним в результате гидротермальной проработки, соответственно, силицитов и аргиллит-силицитов, которые мы в дальнейшем будем называть гидротермальными силицитами (ГС) и гидротермальными аргиллит-силицитами (ГАС), можно отметить следующее (см. табл. I,2 и рис. I,2).

По сравнению с исходными породами происходит обогащение ГС и ГАС калием (примерно в 1,5 раза), что выражается в мусковитизации (серийтизации) зон гидротермально проработанных пород. Напротив, отмечается вынос из этих участков натрия, главным образом за счет каолинитизации (диккитизации) исходных кислых плагиоклазов, входящих в состав черных сланцев и кремнистых известняков. Выносится магний (почти половина), а также железо (в основном за счет окисления пирита и разложения сидерита), которые переотлагаются выше в юрские отложения, давая там сидеритизированные пропластки. Выщелачиваются и выносятся также халькофильные элементы, однако часть из них иногда концентрируется в трещинах и кавернах ГС и ГАС в виде сульфидов. Отмечается явное обогащение ГС и ГАС хромом, ванадием, серебром (см. табл. 2).

Воздействие кислых гидротерм на исходные первый и второй литеотипы приводит к разложению и выносу карбонатов (главным образом кальцита и доломита), окислению пирита, ОВ и частичному выносу образовавшихся за счет пирита окислов и гидроокислов железа, разложению кислых плагиоклазов, хлорита, ССО, иногда гидрослюды и каолинита (см. табл. I).

Проведенный анализ позволяет предположить следующий механизм формирования вторичной ёмкости в исходных кремнистых известняках и черных сланцах за счет воздействия на них кислых гидротерм.

По зонам дробления в фундаменте поднимаются гидротермальные флюиды, под действием которых происходит термическое разложение и окисление рассеянного в кремнистых известняках и сланцах ОВ и пирита, растворение и вынос карбонатов, раскристаллизация исходного скрытокристаллического биогенного кремнезема и разложение неустойчивых в этих условиях глинистых минералов (хлорита, ССО, отчасти гидрослюды). Железо, освободившееся в результате окисления пирита, впоследствии соединялось с карбонат-ионами, обра-

96 зуя сферацит. В крупных порах, кавернах или трещинах вырастали идиоморфные кристаллы высокоупорядоченных каолинита, диккита, мусковита и кварца. Серный ангидрит, возникавший вследствие окисления пирита, соединяясь с кальцием, образовывал микродрузы тилса.

Вторичная емкость формируется главным образом за счет разложения и растворения карбонатов, в меньшей степени в результате окисления и выноса ширита и ОВ. Для определения вторичной пористости ( $K_{\text{II}}^{\text{BT}}$ ), возникающей за счет разложения карбонатов и окисления ОВ, предлагается формула:

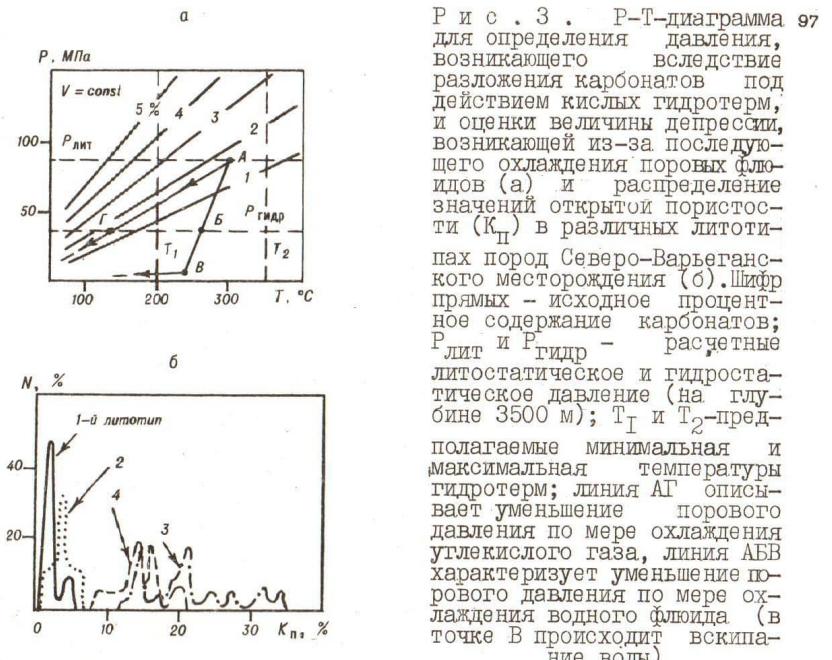
$$K_{\text{II}}^{\text{BT}} = \frac{M_{\text{K}} + 2,7 \cdot M_{\text{OB}}}{1,08 \cdot M_{\text{TK}} + M_{\text{K}} + 2,7 \cdot M_{\text{OB}}},$$

где  $M_{\text{K}}$ ,  $M_{\text{OB}}$  и  $M_{\text{TK}}$  – весовые содержания карбонатов, ОВ и суммы глинистых минералов и кремнезема соответственно.

В соответствии с приведенной формулой в результате гидротермальной проработки кремнистых известняков должна была бы формироваться  $K_{\text{II}}^{\text{BT}}$ , достигающая 0,8 и более. В действительности этого не происходит вследствие уплотнения возникающих высокопористых пород из-за их низкой механической прочности. Вероятно, максимальная вторичная пористость, способная сохраняться на этих глубинах за время, прошедшее после их образования, не превышает 34–35 %.

Образующаяся при разложении карбонатов углекислота вызывает резкое повышение порового давления, что приводит к флюидоразрыву исходных пород и возникновению дополнительной трещиноватости. Расчеты показывают, что при температуре 200 °C уже 3 % содержания карбонатов достаточно, чтобы при их полном разложении возникло давление, превышающее литостатическое ( $P_{\text{лит}}$ ), а при температуре флюидов около 370 °C уже 1 % их концентрации вполне достаточно, чтобы вызвать разрушение исходной породы (рис. 3, а). Очевидно, что при разложении карбонатов в кремнистых известняках под действием кислых гидротерм возникающее давление углекислого газа во много раз превышает  $P_{\text{лит}}$ , происходит флюидоразрыв этих пород, а образовавшаяся углекислота с гидротермами поднимается вверх до проницаемых пластов в юрской толще, формируя в них аномальные гидрокарбонатно-натровые воды и отлагая аутогенные карбонаты в порах пород.

После окончания внедрения гидротерм порода охлаждается, и при некоторой температуре поровое давление падает ниже гидростатического ( $P_{\text{гидр}}$ ). Возникает депрессионная зона, в которую устремляют-



ся флюиды из ближайших проницаемых горизонтов (в данном случае, из раннеюрских). При условии, если поровое давление углекислоты после гидротермальной проработки равнялось  $P_{\text{лит}}$ , а температура достигала, например, 300 °C (точка А на рис. 3, а), то при охлаждении толщи до 130 °C поровое давление упадет до  $P_{\text{гидр}}$  и при дальнейшем охлаждении возникнет депрессия. Интересно, что если поры пород заполнены не углекислотой, а водой, то при тех же начальных условиях при остывании пород  $P_{\text{гидр}}$  будет достигнуто уже при температуре 260 °C (точка Б на рис. 3, а), а при падении температуры до 240 °C вода вскипит (точка В на рис. 3, а). Поскольку реальный поровый флюид содержит и  $\text{CO}_2$ , и  $\text{H}_2\text{O}$  (одновременно), то в действительности при выбранных начальных условиях в зависимости от их соотношения момент возникновения депрессии может лежать в интервале температур 130–260 °C (см. рис. 3, а).

После заполнения депрессионной зоны в ГС или ГАС поровыми флюидами из раннеюрской толщи и их гравитационного расслоения формируется УВ-залежь. Некоторое время после возникновения залежи

98 небольшая депрессия сохраняется, однако впоследствии из-за недостаточной механической прочности высокопористых ГС и особенно ГАС продолжается их дальнейшее уплотнение и сжатие порового флюида, вследствие чего часть Р<sub>лит</sub> передается ему и возникает аномально высокое поровое давление (АВПД). Коэффициент аномальности в Северо-Варьеганской залежи по результатам опробования скв. 2-П составил 1,18.

Гидротермы, насыщенные CO<sub>2</sub>, возникшие за счет разложения карбонатов, поднимаются вверх, проникая в осадочный чехол вплоть до баженовской свиты (J<sub>v</sub>), которая, являясь региональным гидрофобным флюидоупором, задерживает их. В зонах поступления гидротерм формируются положительные термобарические аномалии.

Анализ вещественного состава и предложенный механизм формирования вторичных коллекторов в ГС и ГАС позволяют определить следующую последовательность проведения поисково-разведочных работ с целью обнаружения в них УВ-залежей. По данным дистанционных методов выделяются локальные участки или структуры с отрицательными магнитными и гравитационными аномалиями, в пределах которых локализуются зоны тектонических нарушений. Если эти площади разбурены, то по данным ГИС локализуются зоны термобарических аномалий, которые могут свидетельствовать о проникновении в этих участках гидротермальных флюидов. Наряду с термобарическими аномалиями в этих зонах формируются гидрохимические аномалии, связанные с поступлением вместе с водным флюидом углекислоты. В пределах Северо-Варьеганского месторождения в кровле доюрского фундамента наблюдается явная гидрохимическая аномалия. Если в раннеюрских песчаных горизонтах встречен хлор-кальциевый тип пластовых вод с высокой минерализацией, достигающий 45 г/л и более, то из ГС (ГАС) получены слабоминерализованные (~ 20 г/л) гидрокарбонатно-натровые воды. Налицо явное разбавление поровых вод гидротермами, содержащими углекислоту.

Следующий этап - анализ данных сейсмических исследований. Материалы детальной площадной сейсморазведки ОГТ, выполненной на Северо-Варьеганском месторождении, показали, что в пределах развития ГС и ГАС в кровле фундамента отмечается увеличение временной мощности сейсмогоризонта К, в состав которого они входят (рис. 4). Скважина 12П пробурена в краевой части такого "раздува", ограниченного двумя разломами. Мощность ГС и ГАС, вскрытых этой скважиной, превышает 90 м (см. рис. 4,б). Возникновение "раздува" может быть объяснено низкой акустической жесткостью ГС и ГАС, что

приводит к уменьшению скорости распространения в них сейсмического сигнала. Лабораторные исследования показали, что V<sub>P</sub> в ГС и ГАС ниже, чем в исходных кремнистых известняках и черных сланцах, примерно в 1,3-1,5 раз. Следовательно, мощность сейсмогоризонта К в месте его "раздува", отвечающего развитию в кровле фундамента ГС и (или) ГАС, должна по крайней мере в 1,3-1,5 раз превышать мощность того же горизонта в неизмененных участках.

В левой части сейсмопрофиля выделяется более мощный "раздуть" сейсмогоризонта К, на который предлагается пробурить разведочную скважину (см. рис. 4,а).

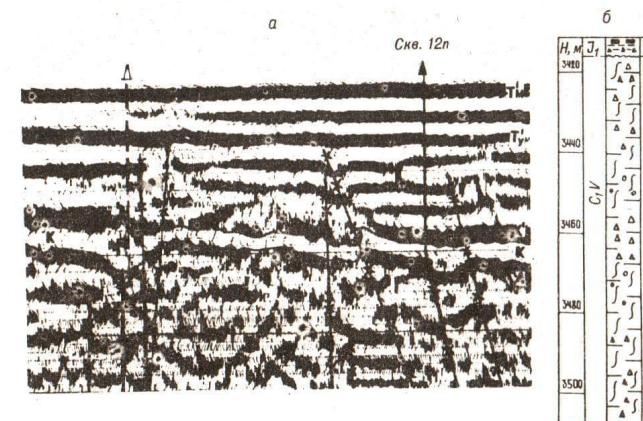


Рис. 4. Палеовременной разрез (а) и литостратиграфический разрез (б) по скв. 12П Северо-Варьеганского месторождения (условные обозначения см. на рис. 2)

Глубина гидротермальной проработки и мощность возникающих ГС и ГАС обусловлена в большей степени качеством гидродинамической изоляции пород, подвергающихся воздействию глубинных флюидов, от проницаемых раннеюрских горизонтов. В случае, если в месте дробления на породах фундамента залегают юрские песчаные пластины, гидротермы разгружаются в песчаники, формируя в них дополнительную емкость. Возникают высокопористые гидротермальные песчаники - самостоятельный поисковый объект на нефть и газ. Низкопроницаемые палеозойские сланцы и известняки в этом случае практически не прорабатываются - образуются узкие зоны ГС или ГАС непосредственно в приразломных частях.

Если на нижнекарбоновых известняках или сланцах залегают слабопроницаемые углисто-глинистые раннеюрские толщи, то возможна глубокая проработка пород фундамента с возникновением мощной толщи ГС и ГАС, как, например, в районе скв. I2П (см. рис. 4,а).

На временных разрезах раннеюрской углисто-глинистой пачке отвечает интенсивная фаза ( $K^I$  на рис. 4,а). Замещение ее песчано-алевритовыми пластами сопровождается на разрезах снижением ее интенсивности, появлением на ее месте светлой фазы (см. рис. 4,а). Поэтому по данным сейсмики можно наряду с "раздувами", отвечающими зонам развития в кровле фундамента ГС и ГАС, характеризовать также качество их гидродинамической изоляции от ближайших проникаемых горизонтов. Последнее полезно знать не только с целью оценки вероятной мощности возникающих ГС и ГАС, но и степени сохранности глинистым экраном формирующейся УВ-залежи.

Исходя из предложенного механизма формирования коллектора, наиболее перспективными являются территории, в пределах которых развиты кремнистые известняки и близкие к ним по составу черные сланцы. Это объясняется особенностями их механо-химических свойств. Прочные, но хрупкие, они легко дробятся в приразломных зонах, поступающие по трещинам кислые гидротермы выщелачивают карбонаты и другие неустойчивые компоненты, возникают мощные зоны ГС и ГАС. Напротив, существенно глинистые разности черных сланцев (наиболее глинистая часть второго литотипа), обладая достаточно высокой пластичностью, в приразломных зонах легко сминаются, в них образуются многочисленные поверхности и "зеркала" скольжения, однако зияющие трещины, способные проводить гидротермы, практически не возникают. Кроме того, низкое содержание в них карбонатных минералов, способных выщелачиваться, исключает возможность формирования значительной вторичной емкости. Поэтому юго-западная часть месторождения, в пределах которой развиты черные сланцы с преобладающей глинистой компонентой, является бесперспективной по этому признаку (см. рис. I,в).

Наличие в нижней части юрского разреза достаточно пластичной углисто-глинистой толщи, передающей напряжения приблизительно в соответствии с законом Паскаля, а также легких, наполненных газоконденсатом или нефтью ГС и ГАС, позволяет предположить возможность развития в пределах месторождения явлений диапиризма. Действительно, в том случае, когда блок ГС или ГАС полностью отчленен разломами от одновозрастных пород, он начинает восплывать под действием силы Архимеда вследствие резких различий в плотностях ГС (ГАС) и вмещающих их пород (примерно в 1,3-1,4 раза). Припод-

нятое положение участков, в пределах которых развиты ГС и ГАС, может быть хотя бы отчасти объяснено этим явлением.

С целью определения возраста УВ-залежей в ГС (ГАС) был проведен палеотектонический анализ по данным сейсморазведки (В.В.Кирсанов, ЦГЭ, 1987). Оказалось, что центральная часть месторождения претерпела инверсионный характер тектонических движений. Так, в раннеюрское время она испытывала устойчивое прогибание, в среднеюрское - тектонические движения практически прекращаются, а в позднеюрское время началось ее воздымание, которое продолжалось и в мелу. Главная фаза формирования Северо-Баръеганского поднятия, придавшего ему современный вид, произошла в интервале времени от эоценена до антропогена. Поэтому можно предположить, что формирование ГС и ГАС произошло сравнительно недавно (не ранее эоценена). Действительно, в соответствии с законом нормального уплотнения осадочных пород, сохранение пористости, достигающей 34% (!) на глубине около 3,5 км, вряд ли возможно в течение длительного времени. Например, пористость не измененных вторичными процессами песчаников на этих глубинах обычно не превышает 8-10%.

По перечисленным выше критериям, из которых основными являются сейсмические (В.В.Кирсанов, 1987) и литологические, построена карта предполагаемых зон развития ГС и ГАС в докурском фундаменте (см. рис. I,в). Зоны развития ГС и ГАС контролируются тектоническими нарушениями и в плане имеют вид узких, но протяженных тел. УВ-залежи, содержащиеся в них, имеют небольшие запасы и характеризуются резкой фильтрационной неоднородностью, что следует учитывать при их разработке. Высокая удельная поверхность ГС (ГАС) и гидрофильтрное ее состояние позволяют предложить для вытеснения УВ из пор метод капиллярной пропитки.