

УДК 552.5

## ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАРФЕНОВСКОГО И БОТУОБИНСКОГО ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ ВЕНДА АНГАРО-ЛЕНСКОЙ СТУПЕНИ И НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

М.М. Пушкарева, Е.М. Хабаров, И.В. Варакина

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, г. Новосибирск  
E-mail: pushkarevamm@gmail.com; khabarovem@ipgg.sbras.ru; varaksinaiv@ipgg.sbras.ru

*В результате проведенных исследований выяснены особенности состава, строения и обстановок формирования ботубинского и парфеновского горизонтов верхнего венда юга Сибирской платформы. Выполнен их сравнительный анализ и оценено влияние седиментационных и постседиментационных факторов на формирование фильтрационно-емкостных свойств. Показано, что породы рассматриваемых продуктивных пластов существенно различаются по составу обломочного материала и обстановкам седиментации. Наиболее разнообразны по типам пород аллювиальные и прибрежно-морские комплексы парфеновского горизонта. Продуктивные песчаники ботубинского горизонта более однородны по составу и накапливались в обстановках крупной баровой системы. Формирование коллекторов было обусловлено в первую очередь составом пород и типом цемента и, в меньшей степени, размерностью зерен и их сортировкой.*

### **Ключевые слова:**

*Сибирская платформа, парфеновский горизонт, ботубинский горизонт, литология, коллекторские свойства.*

### **Key words:**

*Siberian Platform, parfenovskiy horizon, botuobinskiy horizon, lithology, reservoir properties.*

### **Введение**

Восточная Сибирь признана на сегодняшний день одним из наиболее перспективных регионов для развития нефтедобычи в России. Особый интерес представляет юг Сибирской платформы, где в пределах Непско-Ботубинской антеклизы (НБА) и Ангаро-Ленской ступени (АЛС) открыто значительное количество крупных месторождений нефти и газа. Результаты поисково-разведочных работ свидетельствуют о том, что основная часть углеводородов приурочена к вендскому терригенному нефтегазоносному комплексу.

На территории АЛС на протяжении многих лет нефтегазопроисследовательские работы проводились в основном в северо-западных и северо-восточных частях, и был сделан вывод о приуроченности большей части ресурсов углеводородов к парфеновскому горизонту венда [1–3]. Новые данные, полученные в результате глубокого бурения, подтвердили его перспективность и в центральных районах. Основным объектом нефтегазодобычи на территории НБА является ботубинский продуктивный горизонт, который, по мнению многих исследователей, счита-

ется возрастным аналогом парфеновского [4, 5]. Сравнительный анализ новейших данных по литологии рассматриваемых продуктивных пластов центральной части АЛС и северо-востока НБА позволяет расширить представления о составе и строении коллекторов.

### **Стратиграфическая позиция**

Стратиграфическая позиция этих продуктивных горизонтов близкая, поскольку они приурочены к верхней части терригенного комплекса нижнего венда. Вместе с тем в деталях корреляция их далеко неоднозначна. Некоторые исследователи считают ботубинский горизонт возрастным аналогом парфеновского, другие полагают, что горизонты занимают различные стратиграфические позиции.

Например, Л.Ф. Тыщенко считает, что парфеновский горизонт песчаников тирской свиты на юго-востоке территории НБА (это песчаники, аналогичные ботубинским на северо-востоке НБА) является аналогом боханского продуктивного горизонта на АЛС [6]. Таким образом, парфеновский

горизонт АЛС залегает значительно выше, чем ботубинский НБА.

Н.В. Мельников рассматривает их в качестве возрастных аналогов в соответствии с решениями IV Межведомственного регионального стратиграфического совещания [4, 5]. На сегодняшний день с этим вариантом соглашается большинство исследователей.

### Литология

Рассмотрим более детально состав ботубинского и парфеновского горизонтов.

Ботубинский горизонт залегает в основании нижней подсвиты бюкской свиты, подстилается аргиллитами и алевролитами курсовской свиты, переход от которой охарактеризован переслаиванием алевролитов, аргиллитов и песчаников с постепенным возрастанием роли последних вверх по разрезу (рис. 1). Отложения ботубинского горизонта перекрываются доломитами и ангидритами верхней подсвиты бюкской свиты, причем переход также постепенный и выражен в увеличении содержания карбонатно-сульфатного цемента в песчаниках прикровельной части. Общая мощность составляет до 30 м. Горизонт сложен главным образом песчаниками, однако в некоторых разрезах в основании отмечается пачка, представленная переслаиванием аргиллитов и алевролитов. Песчаники

мелко-, средне- и крупнозернистые, иногда гравелитистые, преимущественно кварцевые (содержание полевых шпатов от 0 до 15 %), литокласты отсутствуют. В породах наблюдается микро- и тонкая слоистость, связанная с чередованием слоев с разной размерностью зерен. По данным гранулометрии в ботубинском горизонте фиксируется общий тренд на укрупнение зернистости вверх по разрезу, осложненный отдельными последовательностями более мелкого масштаба. Этот факт наряду с другими текстурными особенностями позволяет сделать вывод о баровом генезисе пород. Цвет песчаников варьирует в зависимости от степени нефтенасыщенности от светло-серого до темного. Содержание цементов невелико и колеблется в пределах от первых процентов до 10...15 %. Цемент порово-пленочный глинистый и слюдисто-железистый фиксируется в нижней части горизонта (до 5 %). Выше по разрезу возрастает роль пойкилитового доломит-ангидритового (до 5 %) и кварцевого регенерационного (до 10...15 %) цемента, при снижении содержания полевых шпатов.

Парфеновский горизонт верхней подсвиты чорской свиты представлен неравномерным чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов (рис. 2). Породы залегают на аргиллитах и алевролитах нижней подсвиты чорской свиты и перекрываются карбонатно-сульфатными отложениями катангской

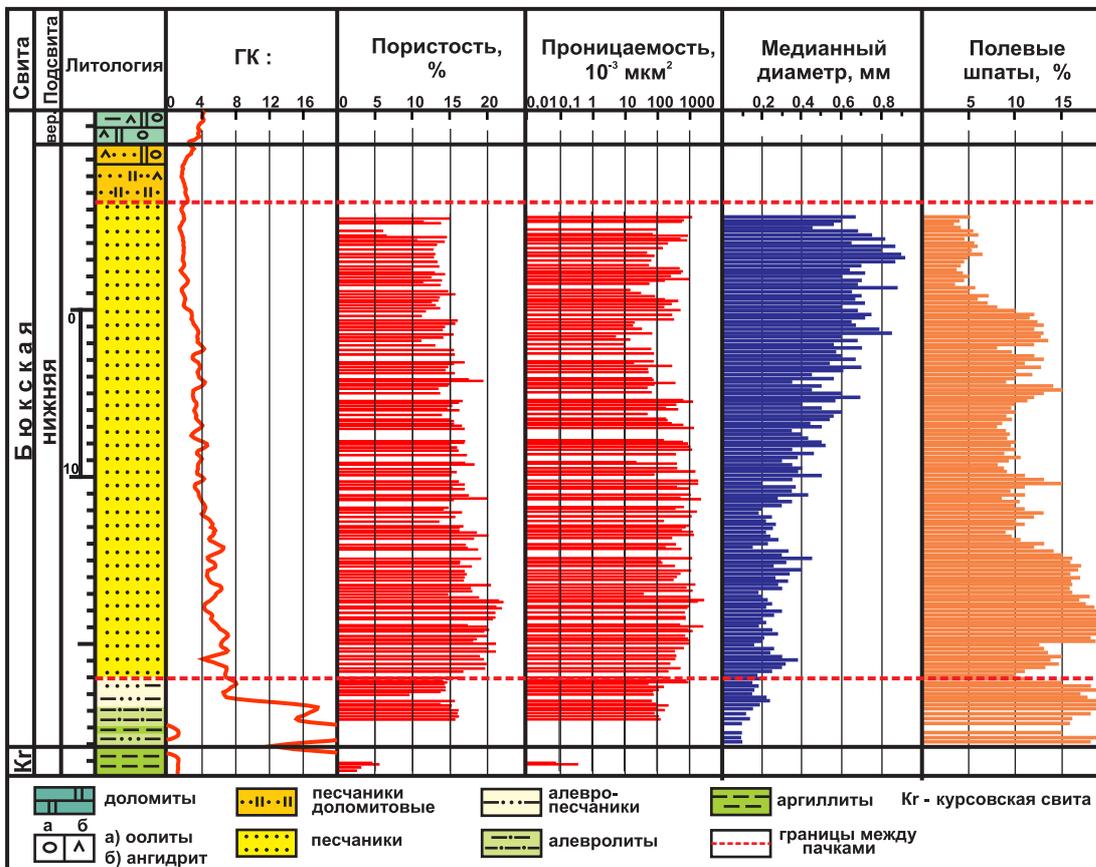


Рис. 1. Распределение пористости, проницаемости, гранулометрического состава и полевых шпатов в ботубинском горизонте на примере одной из скважин северо-востока Непско-Ботубинской антеклизы

свиты. Мощность горизонта варьирует от 30 до 60 м. В целом можно выделить две части: нижнюю преимущественно алеврито-глинистую и верхнюю с преобладанием песчаного материала. В отличие от ботубинского пласта, разрезы центральной части АЛС существенно отличаются друг от друга и двучленное деление призвано в первую очередь отразить общее изменение условий осадконакопления.

В нижней части состав глинистого материала преимущественно хлорит-гидрослюдистый. Алевритовая примесь состоит в основном из кварца, в меньшем количестве присутствуют полевые шпаты и слюды (мусковит, биотит). Алевриты характеризуются слюдисто-полевошпат-литито-кварцевым составом. Особенностью алевро-песчаных пород рассматриваемой пачки является широкое развитие (от 10 до 30 %) хлорит-гидрослюдистого порово-пленочного цемента, содержание которого в более тонкозернистых разновидностях возрастает. Крайне редко в порах отмечаются выделения доломита, крупные кристаллы которого, разрастаясь, включают близлежащие обломки пород и полевых шпатов.

Верхняя часть разреза сложена главным образом песчаниками серыми с буроватым оттенком, в основном мелко-средне-крупнозернистыми, плохо сортированными, прослоями гравелитистыми, полевошпат-литито-кварцевыми, реже слюдисто-полевошпат-литито-кварцевыми, от массивных до полого-косо-слоистых. Литокласты представлены в широком спектре – от кварцитов до фрагментов синседиментационных глинистых пород. Послед-

ние образовались во многих случаях при врезании русла в пойменные отложения. Отмечается общий тренд уменьшения зернистости вверх по разрезу.

Состав цементирующего материала в парфеновских песчаниках сложный и изменчивый. Преобладающим является пленочно-поровый хлорит-гидрослюдистый цемент (10...20 %), но его содержание сокращается до 1...5 % в прикровельной части. Подчиненное значение имеет кварцевый регенерационный цемент (1...5 %), количество которого возрастает вверх по разрезу, достигая в более мелкозернистых разновидностях 10 %. Крайне редко встречается пойкилитовый доломитовый цемент, причем во всех разрезах его содержание несколько увеличивается в основании горизонта (до 10...15 %).

Таким образом, оба горизонта представлены обломочными породами, однако состав их различен. Распределение полевых шпатов и литокластов в парфеновском горизонте закономерно. В песчаниках ботубинского горизонта фиксируется четкий тренд на уменьшение содержания полевых шпатов вверх по разрезу. На основе полученных данных можно сделать вывод, что источником сноса при формировании отложений парфеновского горизонта являлись породы орогенных поднятий Присяня и Прибайкалья. Обломочный материал пород ботубинского горизонта, вероятнее всего, был привнесен из Прибайкальской области и/или с локальных поднятий, которые находились на территории современной Непско-Ботубинской анте-

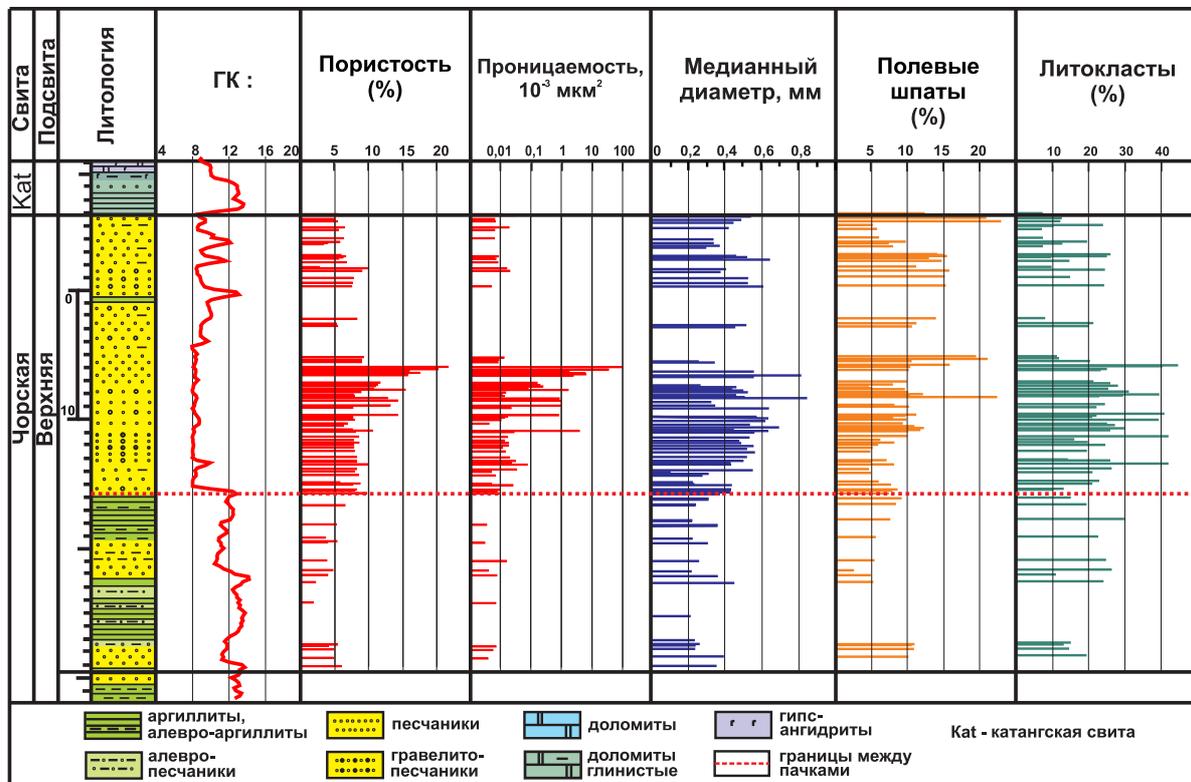


Рис. 2. Распределение пористости, проницаемости, гранулометрического состава, полевых шпатов и литокластов в парфеновском горизонте на примере одной из скважин центральной части Ангаро-Ленской ступени

клизы [7]. Важно отметить, что в пределах Среднеботуобинского месторождения ботуобинский горизонт представлен зрелым песчаным материалом, неоднократно переработанным в условиях существовавшей крупной баровой системы.

Гранулометрический состав пород также различен. Продолжительная переработка существенно кварцевого материала в условиях крупного проградирующего бара получила отражение в четко прослеживаемом тренде на укрупнение зернистости вверх по разрезу ботуобинского горизонта. Аллювиальные и прибрежные обстановки накопления осадков парфеновского горизонта привели к формированию разнонаправленных последовательностей метрового масштаба, соответствующих аллювиальным циклам, в том числе в пределах дельтовых равнин плоских дельт и проградации прибрежных и приустьевых баров.

Как уже отмечалось, породы горизонтов отличаются составом цементирующего материала. Повсеместно отмечаются тренды, фиксирующие изменение содержания того или иного типа цемента. Для ботуобинских песчаников характерно в целом незначительное развитие цементов в разрезе, при этом основным является регенерационный кварцевый, а в парфеновском доминирует порово-пленочный глинистый.

Породы обоих горизонтов характеризуются общим трендом на возрастание роли регенерационного кварцевого цемента вверх по разрезу, который коррелирует с увеличением кварцевой компоненты в составе обломочной части.

В породах ботуобинского горизонта очень низкое содержание порово-пленочного глинистого (преимущественно гидрослюдистого) цемента, и его распределение хорошо коррелирует с содержанием полевых шпатов. В отложениях парфеновского горизонта глинистый цемент развит по всему разрезу, представлен как хлоритовым, так и слюдисто-железистым материалом. В целом его количество составляет от 10 до 32 %. Также наблюдается общая корреляция между содержанием полевых шпатов и литокластов и количеством глинистого цемента.

Ангидрит-доломитовый тип цемента развит в породах обоих горизонтов весьма слабо (первые проценты). В ботуобинских песчаниках его содержание возрастает в приграничных зонах до 10...15 %. В разрезах парфеновского горизонта количество ангидрит-доломитового цемента достигает 10...15 % лишь в основании. Такое распределение можно объяснить различием путей миграции карбонатно-сульфатных пластовых вод.

#### **Структура порового пространства**

Структура порового пространства пород продуктивных горизонтов неоднородна. Во всех песчаниках ботуобинского горизонта отмечаются открытые поры, размер которых варьирует от сотых долей до 0,35 мм, редко до 0,55 мм. По данным микроскопического исследования окрашенных шли-

фов и образцов в сканирующем электронном микроскопе рассматриваемые породы характеризуются относительно простым строением порового пространства. Поры преимущественно межзерновые и имеют трех-четырёхугольную, трапецевидную или удлинённо-продолговатую форму сечений, соединены каналами, ширина которых варьирует от 0,1 мм до 5 мкм и меньше. Поры и каналы в основном унаследованы от седиментогенных межзерновых пустот, которые в результате постседиментационных процессов претерпели существенные изменения. В ходе катагенеза в породах широко проявились процессы стилолитизации, регенерации, развития конформных и инкорпорационных межзерновых контактов, что в целом привело к неоднородному распределению пор. Наблюдаются участки с достаточно плотной упаковкой зерен. Образование граней роста регенерационного кварца и появление других типов цемента сократило объем и усложнило геометрию пор. При этом процессы пелитизации и выщелачивания полевых шпатов благоприятствовали образованию дополнительных пор.

Пустотное пространство пород парфеновского горизонта сложнее. В интервалах с преобладанием алевролитов и аргиллитов коллекторские свойства крайне низкие. В песчаных и алевропесчаных породах значения пористости варьируют в пределах от 5 до 20 % (в среднем около 14...16 %). Наблюдается сильная изменчивость размеров пор от тысячных долей до 0,3 мм. Дополнительная пористость в породах возникает благодаря хлоритовому цементу, точнее его слоистой структуре. Осадки подверглись воздействию процессов уплотнения, деформации обломков, регенерации, аутигенного минералообразования, которые значительно сузили поры и ухудшили их сообщаемость.

#### **Коллекторские свойства**

Распределение фильтрационно-емкостных свойств пород ботуобинского горизонта более равномерно по сравнению с породами парфеновского, и в целом показатели пористости и проницаемости этих песчаников гораздо выше. Если для пород парфеновского горизонта отмечается лишь один резко выраженный максимальный пик, то для пород ботуобинского – это незначительные вариации значений на фоне в целом высоких. Отмеченный пик максимальных значений пористости и проницаемости в породах парфеновского горизонта приходится на интервал, сложенный полевошпат-литито-кварцевыми песчаниками со значительным количеством хлорит-гидрослюдистого (при резком возрастании хлорита) цемента. Известно, что литологические параметры пород влияют на коллекторские свойства. Анализ зависимостей литологических характеристик и ФЕС показал, что исходный состав породы и тип цемента контролировали структуру пустотного пространства. Ухудшение ФЕС связано с развитием кварцевого регенерационного и, частично, карбонатного пойкилитового

цементов, развитие которых во многом зависит от содержания полевого шпата и обломков пород. Максимальные значения пористости и проницаемости ботубобинских отложений соответствуют интервалу хорошо сортированных мелко-среднезернистых полевошпат-кварцевых песчаников с минимальным развитием кварцевого регенерационного и ангидрит-доломитового пойкилитового цемента (рис. 1). Наибольшими значениями пористости и проницаемости в разрезе парфеновского горизонта обладают полевошпат-литито-кварцевые русловые песчаники с преимущественно хлоритовым цементом (рис. 2). Следовательно, на формирование коллекторских свойств нижневендских продуктивных пластов существенное влияние оказывали не только седиментационные, но и постседиментационные факторы. Последние, в некоторых случаях, могли полностью изменить синседиментационную структуру порового пространства.

#### Обстановки седиментации

Реконструкция обстановок седиментации базировалась на анализе типов отложений со своими специфическими структурно-текстурно-морфологическими характеристиками, определяющими параметры и механизм седиментации, и их разноранговых последовательностей. Детальное седиментологическое изучение керн сопровождалось анализом данных геофизических исследований скважин, в первую очередь кривых гамма-каротажа. В песчаниках ботубобинского горизонта наиболее развиты субгоризонтальная и полого-наклонная слоистости, хотя в нижней части разреза отмечаются косая (иногда разнонаправленная) и волнистая. Часто в песчаниках отмечались «двойные» слойки аргиллитов, которые свидетельствуют, наряду с шевронной слоистостью, о влиянии на седиментацию приливно-отливных течений. Формирование песчаников ботубобинского горизонта происходило в условиях крупной баровой системы, с ее периодическим выдвиганием и отступанием, о чем свидетельствуют (на фоне общего тренда на возрастание зернистости вверх по разрезу) последовательности метрового масштаба с возрастанием зернистости вверх по разрезу, включая крупнозернистые отложения гребня бара. Кроме того, наблюдаются нечеткие мелкомасштабные последовательности с уменьшением зернистости вверх, которые представляют собой образования приливно-отливных каналов, секущих баровую систему. Эти выводы не противоречат имеющимся представлениям о генезисе песчаников ботубобинского горизонта [8–10].

В отложениях парфеновского горизонта преобладает пологая косая слоистость, реже встречается субгоризонтальная. В нижней части горизонта отмечались троговая и мелкая планарная косая слоистость и знаки ряби волнения. Парфеновский горизонт охарактеризован разнонаправленными последовательностями метрового масштаба, отражающими разнообразие обстановок седиментации отложений, которые довольно резко сменяются по латерали

и в разрезе. Во время формирования нижней части горизонта доминировали обстановки мелкого и среднего шельфа (крупного залива) с накоплением алевритисто-глинистого материала и периодическим продвижением мелких баров и/или их «язычков». В западном направлении возрастала роль отложений, которые накапливались в пределах плоских дельт и аллювиальных равнин. Отложения верхней части горизонта сформировались в пределах прибрежной аллювиальной равнины. Они характеризуются более разнообразным составом, где существенную роль играет лититовая компонента. Хорошо выделяются аллювиальные циклы с песчаниками с крупной наклонной слоистостью мигрирующих русловых дун. Здесь также фиксируются интервалы, сформировавшиеся в распределительных руслах плоских дельт при активном влиянии приливно-отливных течений, и маломощные приустьевые бары. В самом конце парфеновского времени постепенно возрастала роль прибрежных морских обстановок.

Важная роль образований прибрежных и аллювиальных равнин в составе парфеновского горизонта отмечалась и другими исследователями [11].

Таким образом, в обоих случаях приливно-отливные течения оказывали значительное влияние на формирование отложений. Это нашло отражение в образовании приливно-отливных каналов в ботубобинской баровой системе, и в приливно-отливных и распределительных руслах в пределах парфеновской аллювиально-дельтовой системы.

#### Выводы

Анализ литолого-петрофизических характеристик парфеновского горизонта АЛС и ботубобинского горизонта северо-востока НБА, которые имеют близкую стратиграфическую позицию, показал, что на формирование этих коллекторов наряду с седиментационными факторами существенное влияние оказали постседиментационные процессы. Установлено, что массовое развитие кварцевого регенерационного и пойкилитового доломитового цемента привело к существенному снижению пористости и проницаемости пород. Однако интенсивность развития этих типов цемента зависела от состава обломочной части пород.

Сравнительный анализ показал, что породы парфеновского и ботубобинского горизонтов существенно различаются по составу обломочного материала и обстановкам седиментации. Наиболее разнообразны по типам пород аллювиальные и прибрежно-морские комплексы парфеновского горизонта, в которых наилучшими коллекторскими свойствами обладают полевошпат-литито-кварцевые русловые песчаники с преимущественно хлоритовым цементом. В морских баровых песчаниках ботубобинского горизонта хорошие фильтрационно-емкостные характеристики фиксируются в полевошпат-кварцевых песчаниках его средней части с минимальным развитием пойкилитового доломитового и кварцевого регенерационного типов цемента.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анциферов А.С., Бакин В.Е., Воробьев В.Н. и др. Непско-Ботуобинская антеклизы – новая перспективная область добычи нефти и газа на Востоке СССР. – Новосибирск: Наука, 1986. – 239 с.
2. Дробот Д.И., Городничев В.И. Эпигенез нафтидов в рифей-вендских и кембрийских отложениях юга Сибирской платформы // Нефтегазоносность Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 63–73.
3. Кондрина К.С. Литология пород-коллекторов парфеновского горизонта братского газоносного района // Коллекторы нефти и газа в палеозойских и мезозойских отложениях Сибирской платформы: сборник научных трудов СНИИГГиМС. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1978. – С. 39–45.
4. Решения четвертого Межведомственного регионального стратиграфического совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1989. – 64 с.
5. Мельников Н.В., Якшин М.С., Шишкин Б.Б. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2005. – 428 с.
6. Тыщенко Л.Ф. Региональные корреляции отложений мотской свиты в иркутском амфитеатре // Проблемные вопросы литостратиграфии: сборник научных трудов. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 149–158.
7. Советов Ю.К. Верхнедокембрийские песчаники юго-запада Сибирской платформы. – Новосибирск: Наука, 1977. – 228 с.
8. Кондрина К.С., Чернова Л.С., Дергачева Т.Н. Особенности строения и коллекторские свойства вендского резервуара нефти и газа южной части Сибирской платформы // Литология резервуаров нефти и газа в мезозойских и палеозойских отложениях Сибири: сборник научных трудов СНИИГГиМС. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1982. – С. 15–27.
9. Лебедев М.В., Чернова Л.С. Фашиальные модели терригенных отложений венда северо-востока Непско-Ботуобинской антеклизы (Сибирская платформа) // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37. – С. 51–64.
10. Фомин А.М., Данькина Т.А. Распределение пород-коллекторов в нефтегазоносных горизонтах северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 1. – С. 57–61.
11. Карношина Е.Е., Коробова Н.И., Фролов С.В., Ахманов Г.Г., Фадеева Н.П., Марданова С.Р., Лукина Э.Р. Обстановки седиментации венд-нижнекембрийского комплекса Восточной Сибири // Тюмень-2007: Матер. Междунар. геофизической конф. – Тюмень, 2007. – CD-ROM.

Поступила 28.12.2012 г.

УДК 552.112:550.842 (571.1)

## ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ФЛЮИДОМИГРАЦИИ НА ВАНКОРСКОЙ ПЛОЩАДИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРИКЛАДНЫХ ЯДЕРНЫХ ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАЗРЕЗОВ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН

Ю.М. Столбов, Н.Ф. Столбова

Томский политехнический университет

E-mail: StolbovaNF@ignd.tpu.ru

*Дана оценка интенсивности процессов флюидомиграции на Ванкорской площади по результатам прикладных ядерных литогеохимических исследований разрезов глубоких скважин, пробуренных в северо-восточной части Западной Сибири. Изучение геохимического равновесия между ураном и глиноземом в образцах керна позволило дать оценку интенсивности реакций наложенного эпигенеза в отложениях отдельных свит.*

### Ключевые слова:

*Флюиды, углеводороды, реакции, эпигенез, миграция, тектоника.*

### Key words:

*Fluids, hydrocarbons, reactions, epigenesis, migration, tectonics.*

Продуктами окисления углеводородов являются углекислый газ и вода, поэтому процессы миграции углеводородных флюидов всегда сопровождаются реакциями наложенного эпигенеза, протекающими в системе вода–порода, т. е. процессами углекислотного метасоматоза [1].

Основное внимание при поисках залежей УВ в настоящее время уделяется выявлению эффектов, обусловленных присутствием в породах углеводородных флюидов. Исследованию процессов флюидомиграции углекислотных растворов уделяется мало внимания. Между тем именно они оказывают существенное влияние на формирование зон аккумуляции углеводородов [2].

Известно, что присутствие  $\text{CO}_2$  нарушает геохимическое равновесие между породой и водой. Первичные алюмосиликаты в кислой среде превращаются в глинистые минералы. При этом многие элементы переходят в растворенное состояние. К числу таких элементов относится уран [3].

Интенсивность реакций наложенного эпигенеза, протекающих в системе вода–порода, зависит от открытости системы. Поэтому в песчаных породах (при прочих равных условиях) постседиментационные изменения всегда больше, чем в глинистых. Это обстоятельство дает возможность использовать наклон зависимости величины отноше-