

2. Дахнов В. Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород. М.: Недра, 1975. 344 с.
3. Доль Г. Г. Интерпретация СП в глинистых песках: Сборник "Вопросы промышленной геофизики". Гостоптехиздат, 1957.
4. Латышова М. Г., Манчева Н. В., Морозович Я. Р. Анализ результатов исследования методики анизотропии при подсчете запасов свиты медистых песчаников Шебелинского месторождения // Применение методов промышленной геофизики при изучении газоносных коллекторов. М.: Гостоптехиздат, 1962. С. 189–198.

Рецензент доктор геол.-мин. наук Г. Г. Яценко

УДК 550.832.582

Л. Д. Колотущенко

*ООО "Центр научных исследований, проектирования,
геологии ископаемого сырья"*

А. В. Малинин

ООО "Нефтегазгеофизика", Университет "Дубна"

С. Ю. Рудаковская

ООО "Арктик-ГЕРС"

ИЗУЧЕНИЕ ПРОДУКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕНДСКОГО ТЕРИГЕННОГО КОМПЛЕКСА НА ЮГО-ЗАПАДЕ ЯКУТИИ ЯДЕРНО-МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ

Рассмотрены результаты изучения древнейшего терригенного продуктивного комплекса венда на юго-западе Якутии методом ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) по керну и каротажу. Приведены краткие сведения о геологическом строении региона. На примере исследований керна из ботуобинского и талахского горизонтов показано различие в составе, структуре и коллекторских свойствах разных петрографических типов песчаников. Установлено, что коллекторские свойства, определенные методом ЯМР по керну, удовлетворительно согласуются с результатами стандартных исследований. Высокая чувствительность ЯМР к структуре порового пространства позволяет прогнозировать распределение коллекторских свойств практически во всем диапазоне петрографических типов песчаников. Аналогичные оценки получены и по данным ядерно-магнитного каротажа (ЯМК).

Ключевые слова: Якутия, керн, каротаж, ядерно-магнитный резонанс, песчаники, структура порового пространства, пористость, проницаемость, остаточная водонасыщенность.

Исследования скважин ядерно-магнитными методами в сильном магнитном поле [5] в России выполнены в нескольких сотнях скважин. В слабоизученных регионах Восточной Сибири и Якутии таких исследований на порядок меньше.

В этой статье представлены некоторые результаты изучения древнейшего терригенного продуктивного комплекса венда [2, 4] на юго-западе Якутии геофизическими методами с применением ядерно-магнитного каротажа. Речь пойдет о разведочных площадях, расположенных в Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области (НБ НГО), приуроченной к восточному-юго-восточному склону надпорядковой структуры – Непско-Ботуобинской антеклизы (НБА). Этот склон отделяется от Байкало-Патомской складчатой области Предпатомским региональным прогибом.

В геологическом строении осадочного чехла НБ НГО участвуют умеренно консолидированные песчано-глинистые отложения верхнего рифея (выполняют неровности протерозойского кристаллического фундамента), терригенные и карбонатные породы венда, а также галогенно-карбонатные породы кембрия. Судя по распределению мощностей отдельных стратиграфических подразделений (рис. 1), восточный склон НБА был сформирован еще в вендское время. Вышележащие кембрийские галогенно-карбонатные отложения практически нивелируют древний рельеф.

С точки зрения нефтегазоносности в Непско-Ботуобинской НГО наибольший интерес представляет терригенный комплекс отложений венда. В нем выявлено несколько десятков залежей нефти и газа и около 20 связанных с ними месторождений. Среди них такие крупные месторождения, как Среднеботуобинское, Тас-Юряхское и Верхневилючанское, а также Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение с уникальными запасами газа. Для всех месторождений юго-запада Якутии характерно повышенное (существенно выше кондиционного) содержание гелия в пластовом газе.

Залежи нефти и газа связаны с рядом терригенных продуктивных горизонтов, сложный характер распространения которых определяется всей геолого-тектонической историей формирования этого региона.

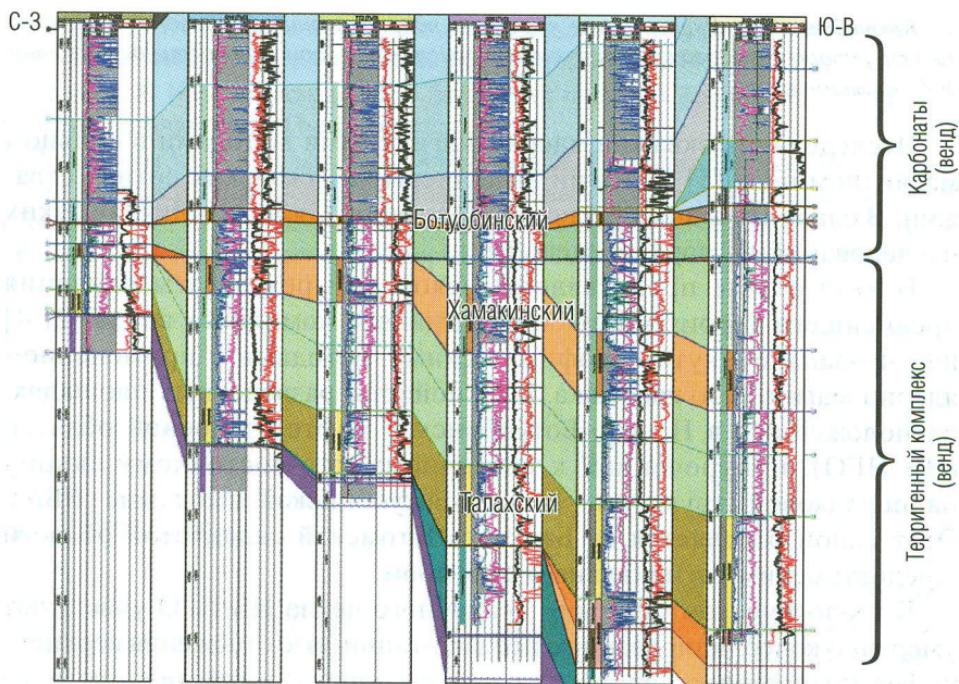


Рис. 1. Корреляция продуктивных горизонтов вендинского терригенного комплекса на юго-западе Якутии (Чаяндинская зона)

В самом основании вендинского терригенного комплекса залегает вилючанский продуктивный горизонт – его кварцевые песчаники относятся к низам венда и заполняют глубокие депрессии фундамента.

Талахский горизонт имеет на рассматриваемой территории практически повсеместное (за исключением небольшой северо-западной части) распространение. К нему иногда применяют термин “базальный”, поскольку он с размывом в основании залегает на разновозрастных породах (кристаллический фундамент, рифей, низы венда). Формирование талахского продуктивного горизонта происходило в условиях ускоренной трансгрессии моря с близостью источников сноса осадочного материала.

Хамакинский продуктивный горизонт состоит из нижней и верхней частей, которые имеют различный генезис. Для нижней части характерно формирование песчаных тел в прибрежно-морских условиях при относительно небольших колебаниях уровня моря и удаленности

тью источников сноса. Верхняя часть горизонта сформирована после значительного стратиграфического перерыва в осадконакоплении с существенным размывом нижележащих осадков на значительной части (северо-западная часть) рассматриваемой территории. Песчаное тело верхней части хамакинского горизонта сформировано в условиях, близких к формированию талахского горизонта.

Верхняя часть хамакинского горизонта по своему положению (но не по источнику сноса осадочного материала) хорошо сопоставляется с улаханским продуктивным горизонтом, распространение которого установлено на всех месторождениях и разведочных площадях, расположенных к северо-западу от северных окончаний Среднеботубинского и Тас-Юряхского месторождений.

Завершает вендский терригенный комплекс ботубинский продуктивный горизонт. Его песчаные тела формировались в условиях мелководной шельфовой террасы в стабильных тектонических условиях. В условиях дозированного сноса терригенного материала (в основном это продукты размыва нижезалегающих пород) происходили его длительное перемывание и транспортировка приливно-отливными и вдольбереговыми течениями с накоплением песчаного материала полосой вдоль береговой линии с образованием песчаных баров и банок, разделенных подводными руслами обратных течений. Ближе к береговой линии (северо-запад) в лагунах накапливались заглинизованные осадки, в глубоководной части (юго-восток) – тонкодисперсный материал (глины).

Для всех выявленных в терригенном комплексе венда на территории Непско-Ботубинской НГО резервуаров нефти и газа характерны аномально низкие пластовые давления (АНПД) в 5–7 МПа с нарастанием аномальности к нижним резервуарам и аномально низкими пластовыми температурами (9–16 °C).

Коллекторы резервуаров представлены мелко-средне-крупнозернистыми кварцевыми и кварц-полевошпатовыми песчаниками, крупнозернистыми алевролитами и гравелитами. Тип коллекторов – гранулярный с подчиненным присутствием в отдельных случаях трещинной составляющей. Качество коллекторов улучшается к кровле терригенного продуктивного комплекса (рис. 2).

Для анализа полученных материалов взяты два продуктивных горизонта – ботубинский и талахский (рис. 3), резко отличающиеся как по вещественному составу, так и по фильтрационно-емкостным свойствам.

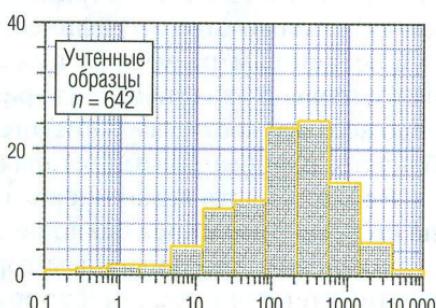
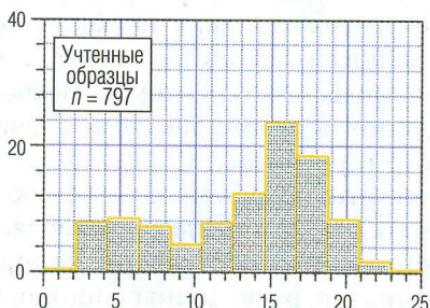
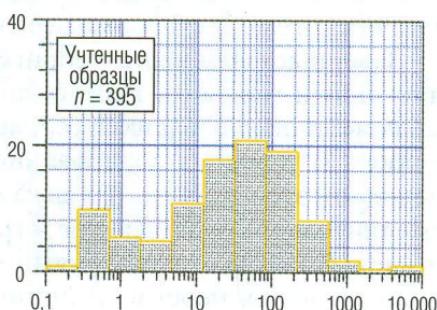
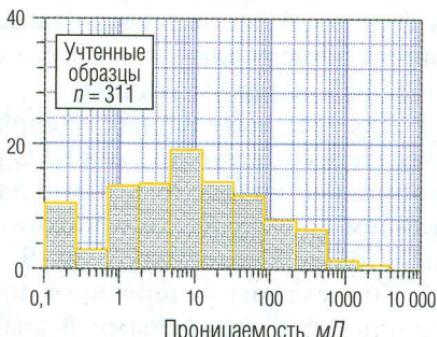
a*б**в*

Рис. 2. Распределение пористости и абсолютной проницаемости коллекторов в ботуобинском (а), хамакинском (б) и талахском (в) продуктивных горизонтах на одном из крупнейших месторождений юго-запада Якутии

На рис. 4 приведены результаты исследования породообразующих минералов и цемента этих двух горизонтов по данным изучения 212 шлифов. Заметно, что содержание обломочного материала с размером зерен до гравелитов в талахском горизонте превышает 20%, тогда как в ботуобинском такой материал практически отсутствует.

Это определяет облик данных горизонтов по материалам комплекса геофизических исследований скважин (ГИС). Ботуобинский горизонт, сложенный чистыми кварцевыми песчаниками (содержание полевых шпатов в среднем не превышает 10%), характеризуется низкими значениями естественной гамма-активности. Талахский горизонт с высоким содержанием слабоизмененного осадочного материала, полученного в результате выветривания, разрушения пород фундамента и относительно недалекой транспортировки этого материала, характеризуется высокими, сопоставимыми с показаниями в аргиллитах, а нередко и аномально высокими значениями естественной гамма-активности.

Комплекс ГИС, предусмотренный для литологического расчленения разреза, выделения коллекторов, оценки их пористости, характера насыщенности и коэффициентов нефтегазонасыщенности состоит из радиоактивных методов (ГК, НГК и ННК-Т), электрических методов (БК, БМК и ВИКИЗ), профилеметрии, акустического и гамма-гамма-плотностного методов, а также прямых методов (ГДК и ОПК). С целью получения еще одного метода для выделения коллекторов и оценки проницаемости пород в этих сложных геологических условиях комплекс методов ГИС был дополнен ядерно-магнитным каротажом, а в программе изучения керна были предусмотрены исследования ядерно-магнитного резонанса. Исследования ЯМК и ЯМР выполнены пока в ограниченном объеме.

Рассмотрим выборку образцов керна, где выполнены исследования ЯМР. На рис. 5 приведены распределения фракционного состава пород, которые свидетельствуют о том, что в распределении песчаной, алевритовой и глинистой фракций в ботуобинском и талахском горизонтах особых различий не наблюдается. Напротив, распределение основных породообразующих минералов (рис. 6) существенно различается для этих двух горизонтов и свидетельствует о том, что ботуобинский горизонт представлен кварцевыми песчаниками, а талахский – аркозовыми.

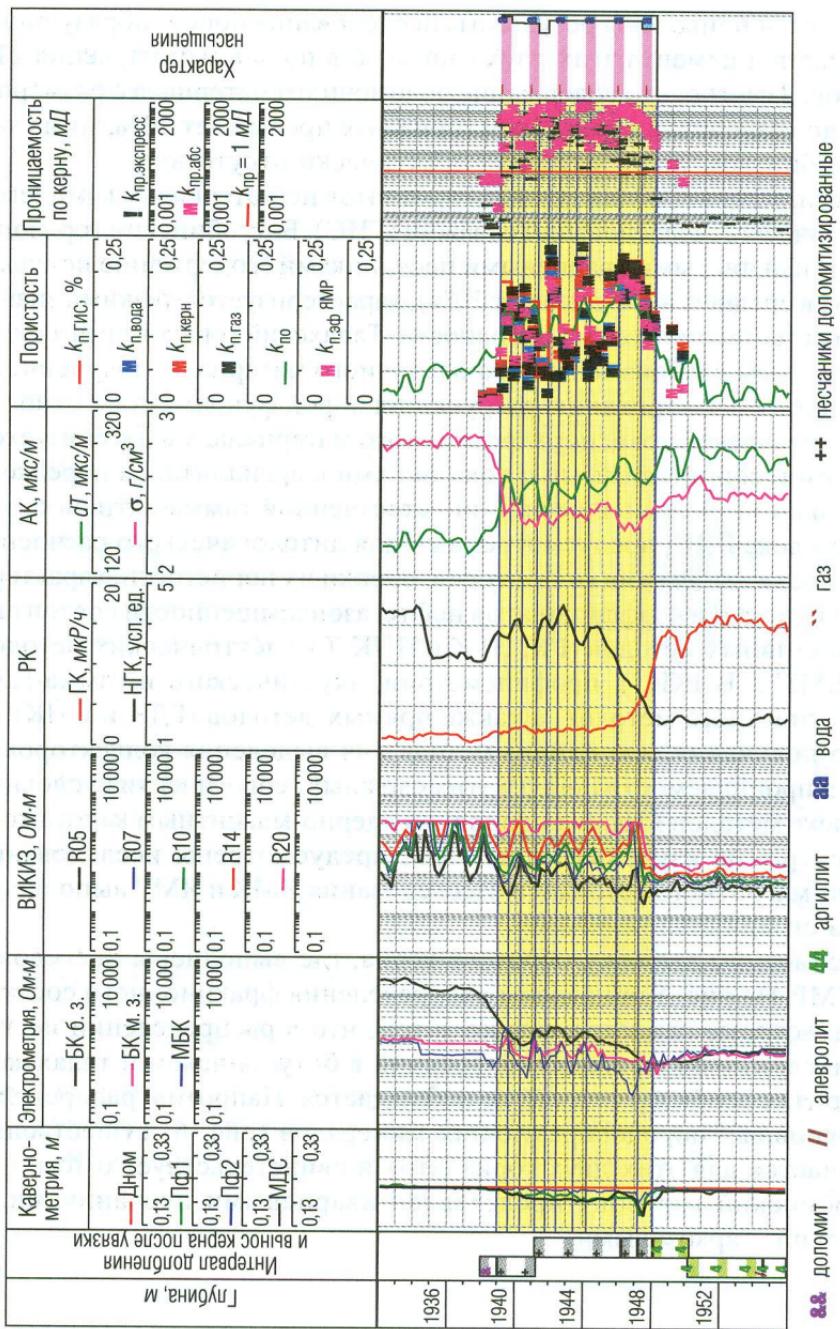


Рис. 3. Типичная геолого-геофизическая характеристика ботубинского (а) и талахского (б) продуктивных горизонтов венского терригенного комплекса

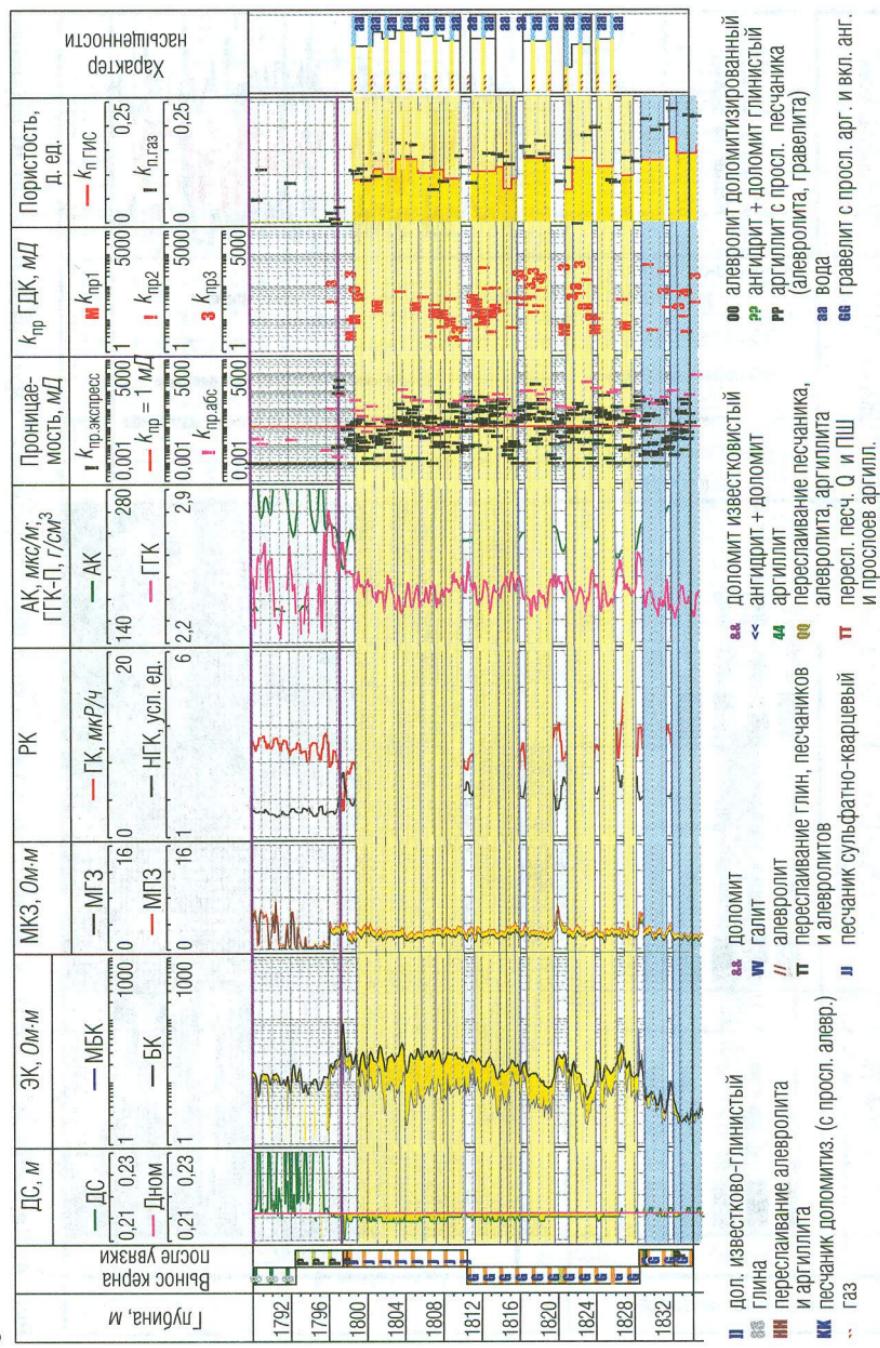


Рис. 3. Продолжение

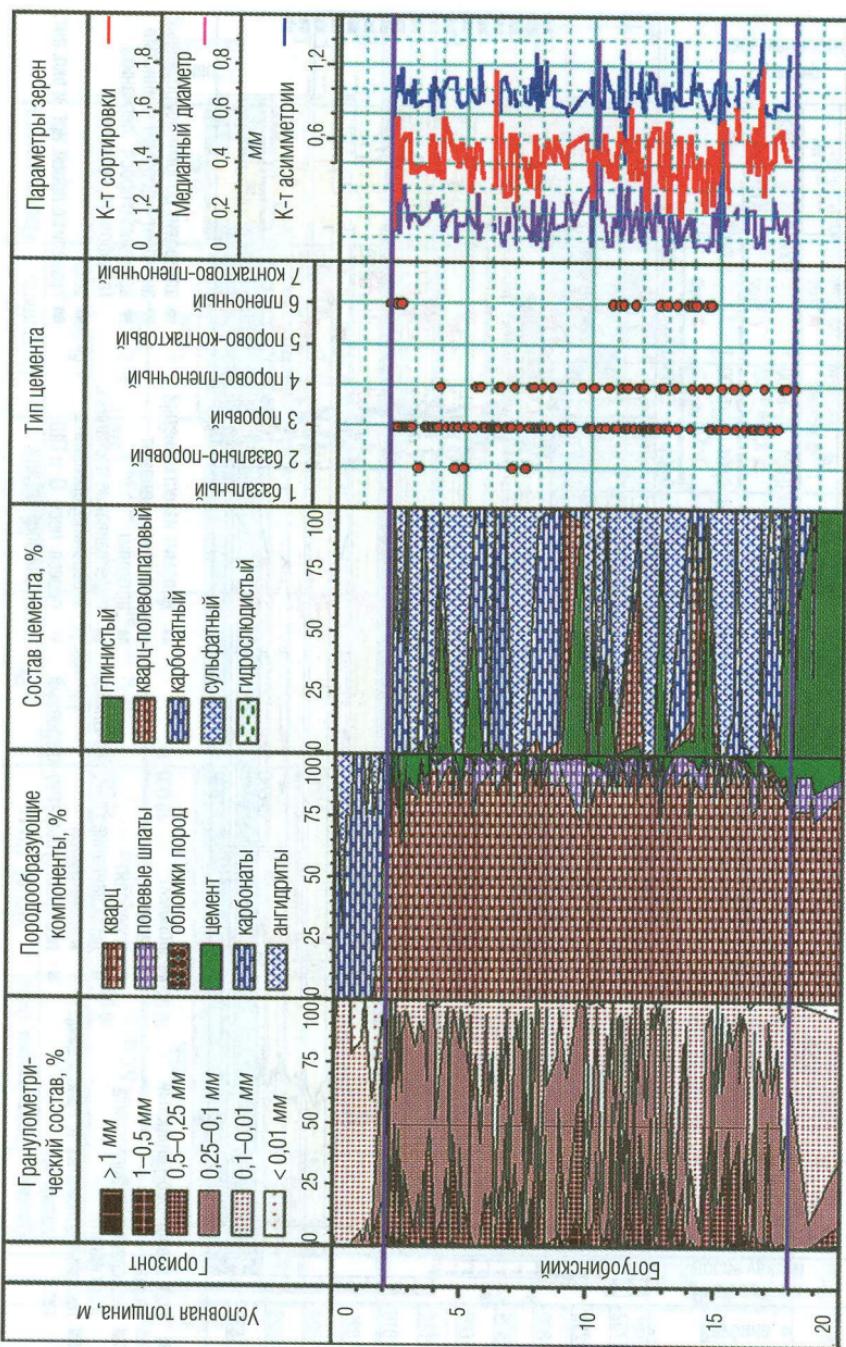


Рис. 4. Характеристика ботубинского (а) и талахского (б) продуктивных горизонтов по данным изучения шлифов

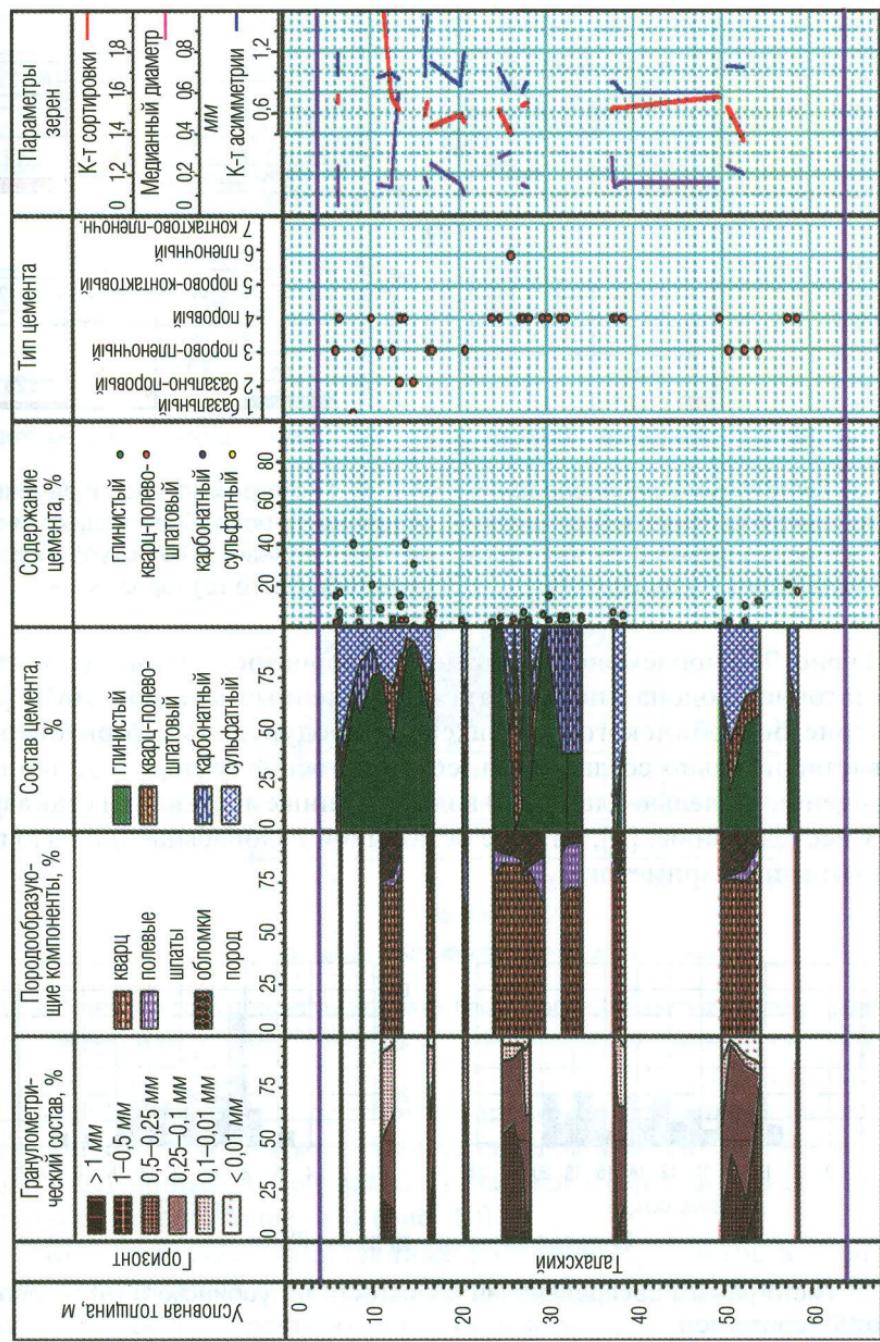


Рис. 4. Продолжение

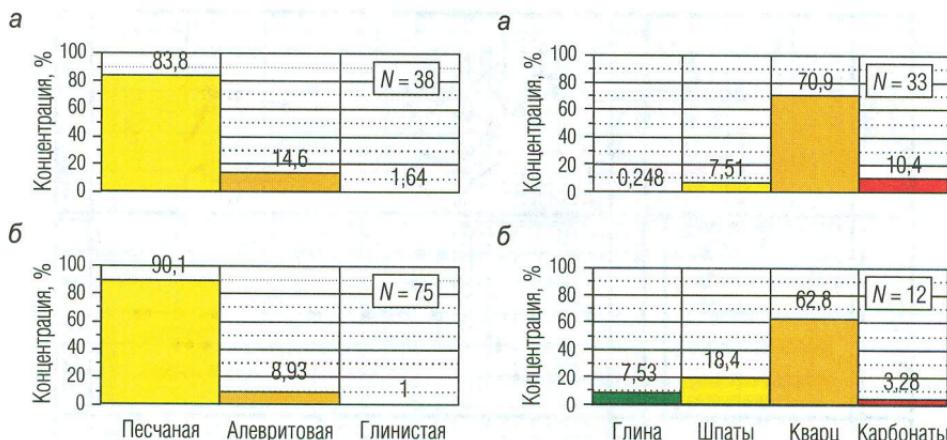


Рис. 5. Гистограмма распределения фракционного состава пород по данным ситового анализа ботуобинского (а) и талахского (б) горизонтов

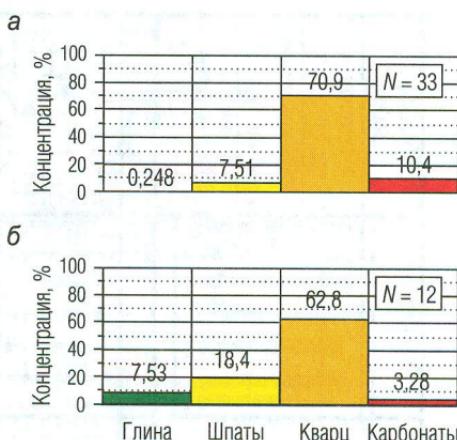


Рис. 6. Гистограмма распределения основных пордообразующих минералов по данным XRD ботуобинского (а) и талахского (б) горизонтов

На рис. 7–9 продемонстрировано, что пористость, проницаемость и остаточная водонасыщенность, определенные методом ЯМР [3] на керне ботуобинского и талахского продуктивных горизонтов, удовлетворительно согласуются, соответственно, с пористостью по насыщению моделью пластовой воды, проницаемостью при стандартных исследованиях [1], а также остаточной водонасыщенностью по данным капиллярометрии.

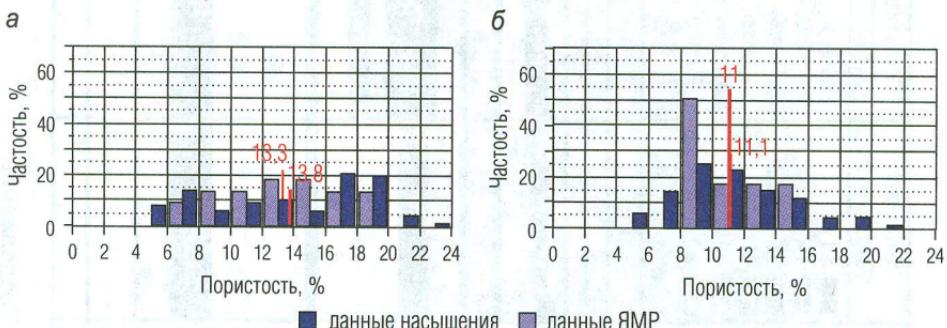


Рис. 7. Гистограммы распределения пористости ботуобинского (а) и талахского (б) горизонтов

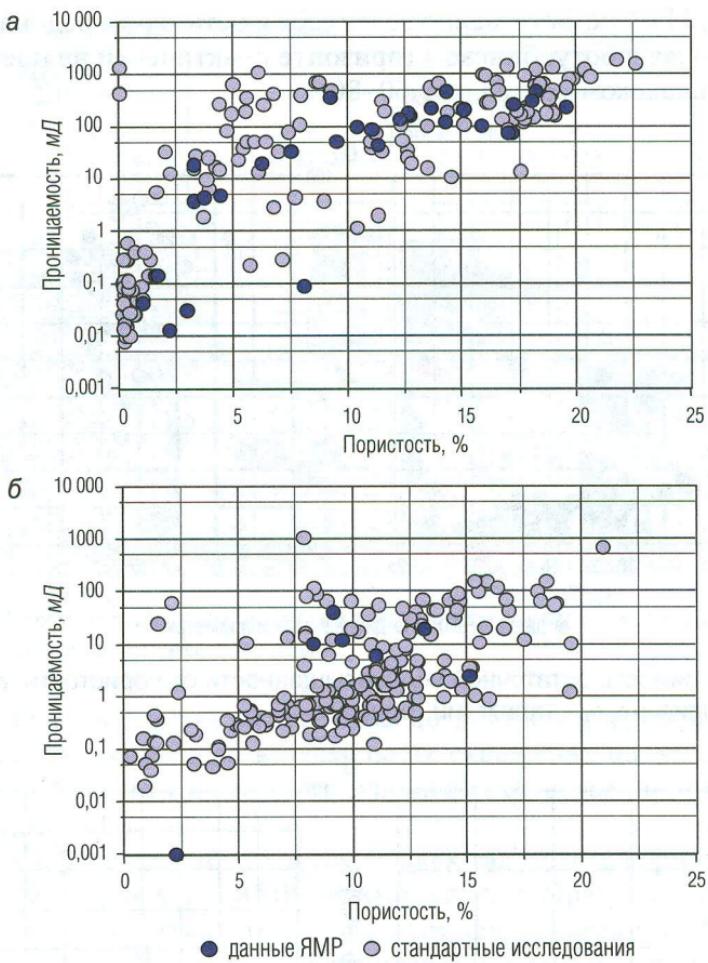


Рис. 8. Зависимость проницаемости от пористости: а – ботуобинский горизонт; б – талахский горизонт

По данным ЯМР доля глин в поровом пространстве кварцевых песчаников ботуобинского горизонта ничтожна (менее 1%), в аркозовых песчаниках и граувакках талахского горизонта в отдельных случаях она превышает 8% (рис. 10).

Это определяет существенные различия горизонтов в фильтрационно-емкостных свойствах. При примерно равных пористостях проницаемость коллекторов ботуобинского горизонта на два порядка

выше (рис. 11). Соответственно ведет себя и остаточная водонасыщенность, которая в ботуобинском горизонте практически не превышает 10%, а в талахском составляет 60–80%.

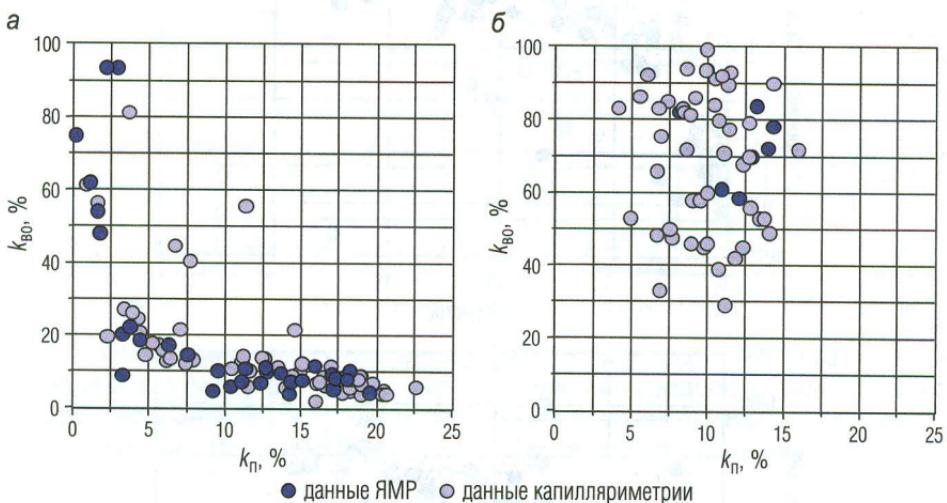


Рис. 9. Зависимость остаточной водонасыщенности от пористости: а – ботуобинский горизонт; б – талахский горизонт

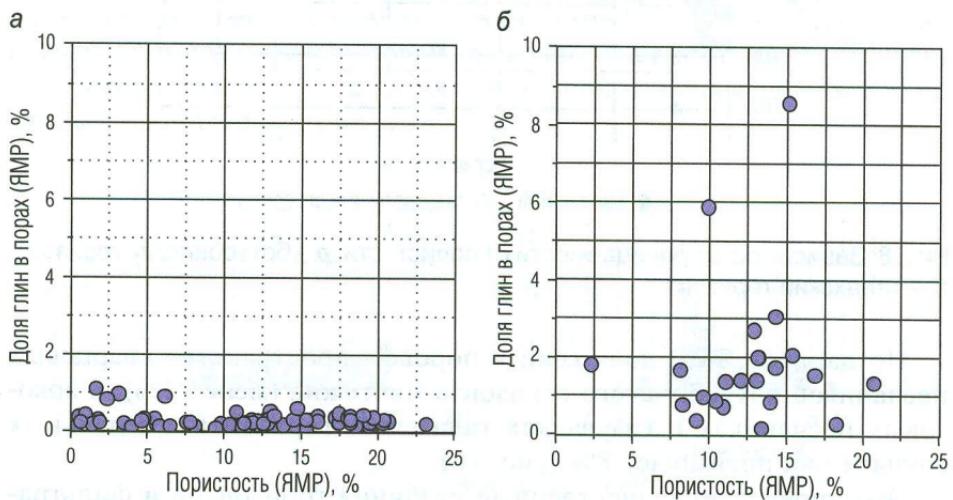


Рис. 10. Сопоставление содержания глин в порах с пористостью (данные ЯМР): а – ботуобинский горизонт; б – талахский горизонт

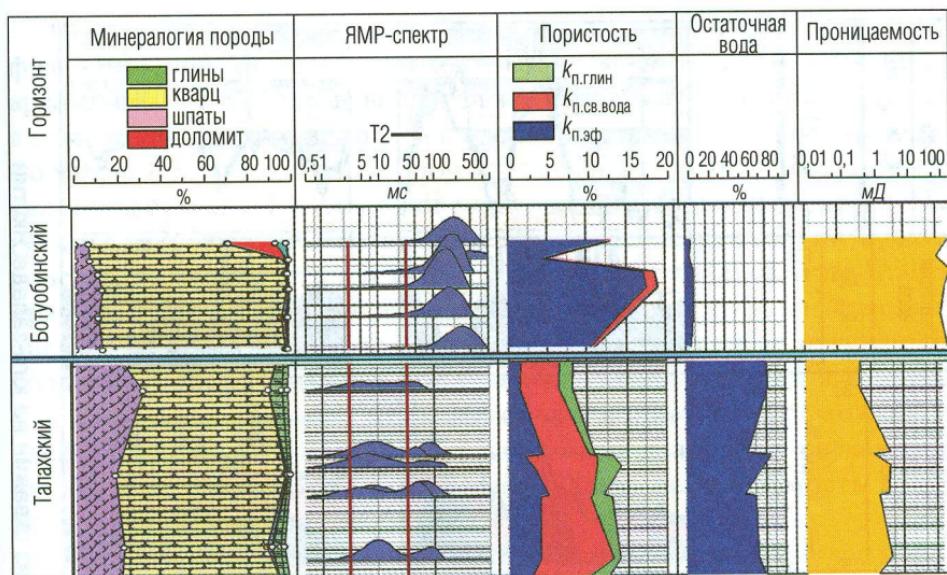


Рис. 11. Пример определения пористости, проницаемости и остаточной водонасыщенности на керне по ЯМР

Аналогичные оценки получены по данным ядерно-магнитного каротажа, выполненного в нескольких скважинах на одном из месторождений рассматриваемого региона по отечественной технологии ЯМТК (рис. 12).

В аркозовых песчаниках и граувакках талахского горизонта (нижний фрагмент) спектры ЯМК двухмодальные. Правая мода отражает присутствие эффективных пор. По временам спектров ЯМК такие поры обычно формируются крупнозернистыми алевролитами или алевропесчаниками. Левая мода спектров отражает связанный флюид и формируется порами мелкозернистых алевролитовых и глинистых частиц. По временам левой моды спектров глинистая фракция в коллекторах имеет повышенное содержание, но по размерам крупнодисперсная (каолинит, возможно, хлорит). Тонкодисперсная глинистая фракция (гидрослюды, смектиты) имеет подчиненное распространение. Это, отчасти, снижает негативный эффект повышенной глинистости. Рассчитанные по спектрам ЯМК высокий $k_{\text{во}}$ (0,55–0,75) и низкая проницаемость (преобладает $k_{\text{пп}} < 1 \text{ мД}$) отражают ухудшенную характеристику коллекторов.

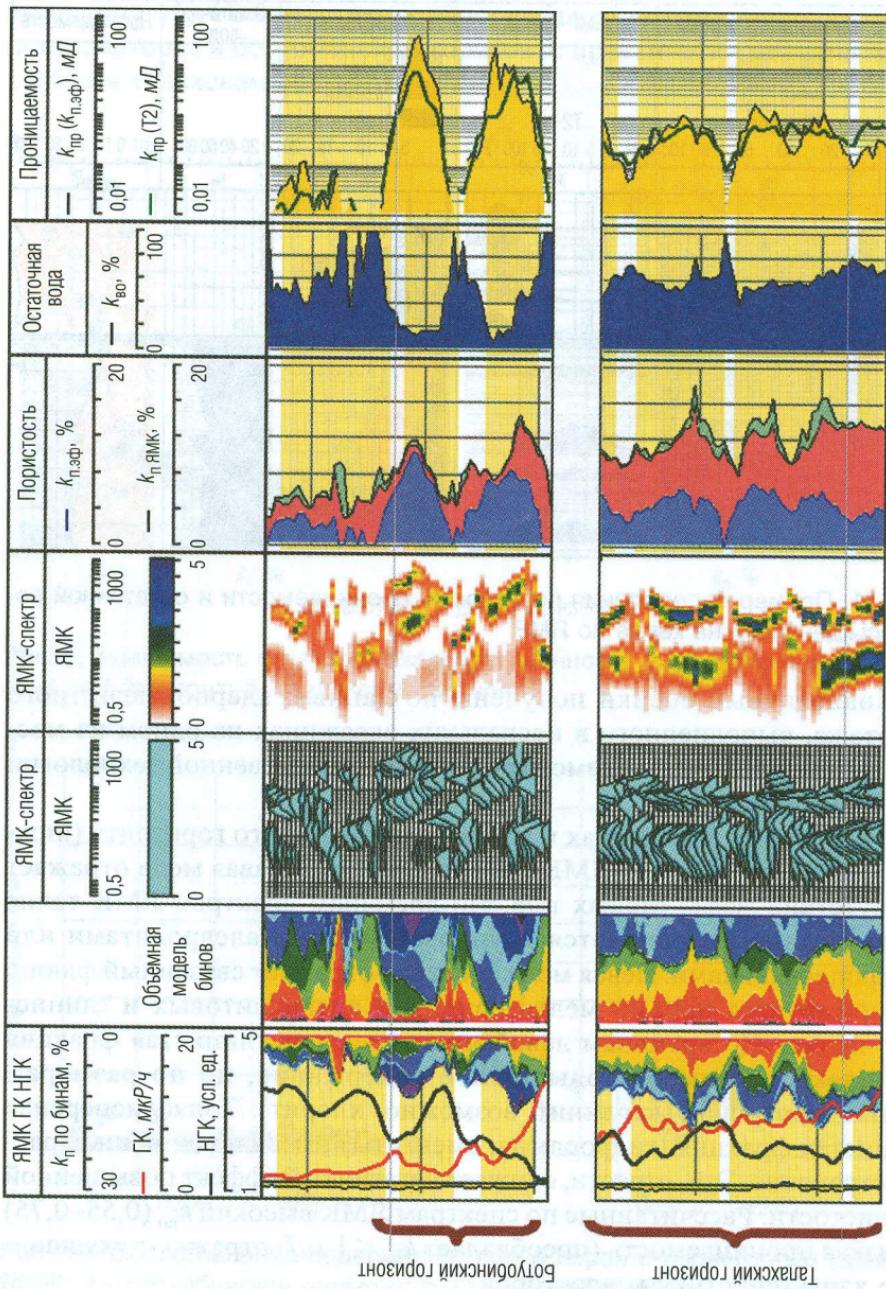


Рис. 12. Пример интерпретации материалов ЯМТК в одной из скважин на юго-западе Якутии

В кварцевых песчаниках ботубинского горизонта (верхний фрагмент) спектры ЯМК в основном одномодальные. В отличие от аркозовых песчаников левая мода спектров, связанная с глинисто-алевритовой фракцией, практически не выражена, основная емкость формируется эффективными порами песчаных частиц. Косвенно это свидетельствует об упрощении морфологии порового пространства (уменьшение извилистости, доли тупиковых пор, степени изменчивости размеров тел пор и соединяющих их каналов и др.), хотя прямо морфологию порового пространства метод ЯМК не позволяет оценить. Максимальные времена спектров в кварцевых песчаниках больше и “живые” сечения пор более значительные, чем в аркозах. Как следствие, даже при меньшей общей пористости расчетные по спектрам ЯМК фильтрационные параметры кварцевых песчаников лучше, чем в аркозовых – $k_{\text{вн}}$ менее 20%, а проницаемость выше более чем на порядок.

Таким образом, высокая чувствительность ЯМР к структуре порового пространства позволяет прогнозировать распределение коллекторских свойств практически во всем диапазоне петрографических типов песчаников.

В разрезах юго-запада Якутии дополнительным важным фактором эффективности ЯМК является его нечувствительность к присутствию галита в поровом пространстве – по ЯМК оценивается только объем флюида в поровом пространстве.

Для ЯМК, как и для электромагнитных методов, определенные технические сложности представляет использование при проводке скважин высокоминерализованных проводящих растворов. Однако имеющийся опыт показывает, что и в этих условиях ЯМК позволяет получить объективную информацию о разрезе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудок Н. С., Богданович Н. Н., Мартынов В. Г. Определение физических свойств нефтеводосодержащих пород. М.: Недра, 2007. 592 с.
2. Методика и технология открытия крупных и уникальных месторождений нефти и газа на юге Сибирской платформы / М. М. Мандельбаум, Г. А. Хохлов, В. А. Кондратьев, В. Б. Мазур // Разведка и охрана недр. 2005. № 2–3. С. 29–38.
3. Мурцовкин В. А., Топорков В. Г. Новая ЯМР-технология петрофизических исследований керна, шлама и флюидов // НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. 2000. Вып. 69. С. 84–97.

4. Самсонов В. В., Ларичев А. И. Перспективные нефтегазоносные комплексы и зоны южной части Сибирской платформы // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. № 3 // http://www.ngtp.ru/rub/4/43_2008.pdf
5. Dunn K.-J., Bergman D. J., LaTorra G. A. Nuclear Magnetic Resonance. Petrophysical and Logging Applications. Pergamon, 2002.

Рецензент канд. техн. наук А. А. Левченко

УДК 550.832.553

В. В. Турышев

Кубанский государственный университет

ВОЗМОЖНОСТИ СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ И КОРРЕЛЯЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ ПО СОДЕРЖАНИЮ В НИХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрены особенности распределения естественных радиоактивных элементов (K, U, Th) в осадочных отложениях Западно-Сибирской низменности различного геохронологического возраста для оценки возможности выделения различных стратиграфических подразделений по данным скважинной и лабораторной (профильной) гамма-спектрометрии. Установлено, что содержание калия отражает главным образом минералогический состав глинистых пород; уран и торий менее дифференцированы по разрезу и являются в большей мере индикаторами близости источников сноса, состава материнских пород, а также условий накопления осадков. Высказано предположение, что устойчивость торий-уранового отношения в разрезе осадочного чехла Западно-Сибирской плиты ($Th/U = 3-4$) объясняется одинаковой (терригенной) формой переноса и осаждения урана и тория по всему спектру литолого-фацальных обстановок. В отложениях волжского возраста (баженовская свита) преобладающей стала растворенная форма урана, что обусловило информативность геохимического показателя Th/U .

Ключевые слова: естественные радиоактивные элементы, литолого-фацальная обстановка, стратиграфический горизонт, источники сноса, глинистые минералы, торий-урановое отношение, формы переноса элементов, скважинная гамма-спектрометрия.