



Оригинальная статья / Original article

УДК 550.8.05

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-220-229>

Разделение коллекторов парфеновского горизонта Ковыктинского месторождения на литотипы с использованием материалов геофизических исследований скважин

© П.Н. Кокарев^а, И.А. Диких^б

^{а,б}Филиал «Газпром недра НТЦ» ООО «Газпром недра», г. Тюмень, Россия

Резюме: Целью данного исследования являлось изучение неоднородности состава, строения и фильтрационно-емкостных свойств песчаников парфеновского горизонта чорской свиты венда Ковыктинского газоконденсатного месторождения. Был выполнен анализ поведения кривых геофизических исследований скважин и дифференциальных распределений геофизических параметров (двойных разностных параметров гамма-каротажа и нейтронного каротажа) в интервале парфеновского горизонта. Выполнено сопоставление дифференциальных распределений геофизических параметров до и после деления коллекторов парфеновского горизонта на литотипы. В результате анализа данных каротажа и геофизических параметров, полученных на их основе, удалось установить наличие трех литотипов песчаников-коллекторов в разрезе парфеновского горизонта. Выполнено обоснование количественных критериев разделения песчаников-коллекторов парфеновского горизонта Ковыктинского месторождения на литотипы по материалам геофизических исследований скважин. Определены направления дальнейшего изучения особенностей строения коллекторов парфеновского горизонта. Сделаны выводы о наличии в парфеновском горизонте коллекторов с улучшенными и ухудшенными фильтрационно-емкостными свойствами. Наличие различных по свойствам и составу коллекторов в отложениях парфеновского горизонта выявило необходимость в пересмотре петрофизической модели и методического обеспечения комплексной интерпретации материалов геофизических исследований скважин, представленных при пересчете запасов углеводородов Ковыктинского газоконденсатного месторождения в 2013 году.

Ключевые слова: парфеновский горизонт, коллектор, геофизические исследования скважин, геофизические параметры

Информация о статье: Дата поступления 16 декабря 2019 г.; дата принятия к печати 18 мая 2020 г.; дата онлайн-размещения 30 июня 2020 г.

Для цитирования: Кокарев П.Н., Диких И.А. Разделение коллекторов парфеновского горизонта Ковыктинского месторождения на литотипы с использованием материалов геофизических исследований скважин. *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 2. С. 220–229. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-220-229>

Division of the Parfenovsky horizon reservoirs in the Kovykta field into lithotypes using the well survey data

© Pavel N. Kokarev^а, Ivan A. Dikih^б

^{а,б}Branch “Gazprom nedra NTC” of LLC “Gazprom nedra”, Tyumen, Russia

Abstract: The purpose of the work is to study the heterogeneity of the composition, structure, and filtration-capacity properties of the sandstones in the Parfenovsky horizon of the Chora formation, the Kovykta gas condensate field. An analysis of the behavior of the well geophysical survey curves and differential distributions of the geophysical parameters (double difference parameters of the gamma-ray logging and neutron logging) in the Parfenovsky horizon interval has been conducted. The differential distributions of the geophysical parameters before and after dividing the reservoirs of the Parfenovsky horizon into lithotypes have been compared. The analysis of the logging data and the geophysical parameters obtained based on the above has made it possible to identify three lithotypes of the sandstone reservoirs in the Parfenovsky horizon section. Based on the well survey data, quantitative criteria for dividing the sandstone reservoirs of the Parfenovsky horizon into lithotypes have been substantiated. Directions for the further studies of the structure of the reservoirs in the Parfenovsky horizon have been determined. The study



has concluded that there are reservoirs with improved and degraded filtration-capacity properties in the Parfenovsky horizon. The presence of reservoirs with different properties and composition in the deposits of the Parfenovsky horizon shows that it is necessary to revise the petrophysical model and methodological support for the complex interpretation of the well geophysical survey data used in the recalculation of the hydrocarbon reserves of the Kovykta gas condensate field in 2013.

Keywords: Parfenovsky horizon, reservoir, well geophysical survey, geophysical parameters

Information about the article: Received December 16, 2019; accepted for publication May 18, 2020; available online June 30, 2020.

For citation: Kokarev PN, Dikih IA. Division of the Parfenovsky horizon reservoirs in the Kovykta field into lithotypes using the well survey data. *Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(2):220–229. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-220-229>

Введение

Анализ геолого-геофизических материалов (результатов испытаний, геофизических исследований скважин (ГИС), исследований керна) указывает на неоднородность песчаников парфеновского горизонта Ковыктинского газоконденсатного месторождения (ГКМ). Дифференциация коллекторов парфеновского горизонта по фильтрационным и емкостным свойствам отмечается как по площади, так и по разрезу. Неоднородность строения, свойств и состава парфеновского горизонта не раз была отмечена рядом исследователей [1–6].

В 2013 г. был выполнен пересчет запасов углеводородов в залежах парфеновского горизонта Ковыктинского ГКМ и Хандинского лицензионного участка, в котором для продуктивных пластов П₁ и П₂ была принята петрофизическая модель, не учитывающая наличие различных по составу и свойствам песчаников в отложениях парфеновского горизонта.

В соответствии с методическими рекомендациями¹, если по результатам анализа геолого-геофизической информации в пределах выделенного объекта подсчета запасов выделяются коллекторы различных литотипов, петрофизические связи должны строиться раздельно для каждого литотипа.

Большой объем накопленных данных в совокупности с требованиями методических рекомендаций указывает на необходимость в пересмотре петрофизи-

ческого обеспечения и методики комплексной интерпретации материалов ГИС.

В настоящей статье в первом приближении выполнено деление коллекторов парфеновского горизонта на литотипы. Деление на литотипы проведено с использованием каротажных данных. В дальнейшем количество литотипов песчаников в разрезе парфеновского горизонта и их границы будут уточнены с привлечением результатов лабораторных исследований керна.

Объект и методы исследования

На Ковыктинском ГКМ продуктивны отложения парфеновского горизонта чорской свиты венда. Парфеновский горизонт представлен переслаиванием песчаников и алевролитов с прослоями аргиллитов. Это огромное (площадью более 7000 км²) геологическое тело, которое фациально замещается в юго-восточном и северо-западном направлениях на более глинистые разности. В разрезе горизонта выделяется два продуктивных пласта П₁ и П₂, которые разделены пачкой аргиллитов толщиной от первых метров до 10–15 м [7].

Формирование парфеновского горизонта происходило в трансгрессивно-регрессивных условиях осадконакопления. Для пластов парфеновского горизонта диагностированы субконтинентальные и прибрежно-морские обстановки седиментации пород [6, 8]. Это и явилось первопричиной существенных

¹ Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом / ред. В.И. Петерсилье, В.И. Пороскун, Г.Г. Яценко. М. – Тверь: Изд-во ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. 260 с.



различий в строении, составе и свойствах парфеновского горизонта на территории Ангаро-Ленской ступени [1].

Изучение отложений парфеновского горизонта при помощи площадных видов геофизических исследований, а также бурение и испытание скважин сопряжено с рядом трудностей, среди которых сильно расчлененный современный рельеф (перепады высот достигают 850 м), наличие интервалов поглощений, зон аномально высоких пластовых давлений и рапопроявлений, зон литологического замещения пластов-коллекторов непроницаемыми породами [9–15].

Остановимся на одной из проблем, с которой авторы столкнулись при анализе материалов испытания пластов P_1 и P_2 в скважинах Ковыктинского ГКМ. В ряде скважин отмечено отсутствие притока углеводородов из пласта P_2 при испытании в открытом стволе или в колонне при достаточно большой суммарной газонасыщенной толщине пород-коллекторов.

По результатам анализа керна установлено, что пласт P_2 зачастую представлен коллекторами двух типов – с улучшенными и ухудшенными фильтрационными свойствами. Песчаники-коллекторы, залегающие в кровельной части пласта P_2 (литотип ЛИТ 2), обладают повышенными значениями коэффициента проницаемости $K_{пр}$ около 10 мД и выше. Песчаники-коллекторы, залегающие в подошвенной части пласта P_2 (литотип ЛИТ 3), характеризуются пониженными значениями $K_{пр}$ преимущественно в диапазоне от 0,1 до 5 мД.

При испытании пласта P_2 не работает либо весь пласт целиком, либо его подошвенная часть в зависимости от того, какую часть пласта охватывает ухудшенный по фильтрационным свойствам литотип ЛИТ 3.

Песчаники парфеновского горизонта всего фонда разведочных, поисково-оценочных и параметрических скважин Ковыктинского ГКМ были разделены на четыре литотипа по материалам ГИС. Три литотипа из четырех относятся

к песчаникам-коллекторам, а один – к песчаникам-неколлекторам.

К песчаникам-неколлекторам отнесены все песчаники, которые характеризуются пониженными значениями интервального времени пробега продольной волны по данным акустического каротажа (АК) и повышенными значениями объемной плотности пород по данным плотностного гамма-гамма-каротажа (ГГК-П). Однако показания методов гамма-каротажа (ГК) и нейтронного каротажа (НК) в таких песчаниках существенно разнятся от скважины к скважине. Это, вероятно, обусловлено наличием двух типов песчаников, а именно заглинизированных песчаников и песчаников с карбонатным и регенерационно-кварцевым типами цемента. В данной статье песчаники-неколлекторы и вопросы, касающиеся их деления на литотипы, не рассматривались. Объектом изучения и дальнейшего рассмотрения данной работы являются песчаники-коллекторы.

Первый (при рассмотрении сверху вниз по разрезу) литотип песчаников-коллекторов (ЛИТ 1) приурочен к пласту P_1 и характеризуется пониженными значениями ГК и повышенными значениями НК. Второй литотип песчаников-коллекторов ЛИТ 2 по фильтрационно-емкостным свойствам и характеристикам ГИС (пониженные значения ГК, средние и повышенные значения НК) схож с литотипом ЛИТ 1, но относится к пласту P_2 , охватывая его кровельную часть. Третий литотип песчаников-коллекторов ЛИТ 3 залегает в подошвенной части пласта или охватывает весь пласт целиком (скважины Квт-30, Квт-31, Квт-63, Квт-66). На кривых ГИС литотип ЛИТ 3 отмечается повышенными показаниями ГК, средними и пониженными показаниями НК.

Увеличение показаний ГК и уменьшение показаний НК с глубиной свидетельствуют об изменении состава породообразующих и цементирующих минералов, а также об увеличении глинистости от кровли к подошве парфеновского горизонта.

Результаты исследования и их обсуждение

Представленная выше градация отложений парфеновского горизонта по литотипам была выполнена на качественном уровне на основе материалов ГК, НК и величины проницаемости, замеренной на керне.

Для оценки правомерности выполненного деления песчаников на литотипы был проведен статистический анализ геофизических параметров для коллекторов парфеновского горизонта в целом и по каждому из литотипов в отдельности. Для этого построены дифференциальные и интегральные распределения двойного разностного параметра ГК $dJ_{\text{ГК}}$ и двойного разностного параметра НК $dJ_{\text{НК}}$, определенных по материалам ГИС в интервалах коллекторов парфеновского горизонта.

Рассмотрим дифференциальные распределения параметров $dJ_{\text{ГК}}$ и $dJ_{\text{НК}}$, построенные для всех коллекторов парфеновского горизонта в целом (рис. 1).

На дифференциальном распределении параметра $dJ_{\text{НК}}$ (см. рис. 1, а), построенном для всех коллекторов парфеновского горизонта, присутствуют явные

признаки наличия существенной неоднородности в песчаниках горизонта.

При построении единой гистограммы параметра $dJ_{\text{ГК}}$ для всех коллекторов парфеновского горизонта, как и в случае с распределением $dJ_{\text{НК}}$, было получено одномодальное дифференциальное распределение (см. рис. 1, б), однако оно осложнено двумя ярко выраженными и значимыми по величине ступенями. Это свидетельствует о неоднородности коллекторов парфеновского горизонта и наличии как минимум трех различающихся по свойствам песчаников-коллекторов. Установленный факт значительной неоднородности парфеновского горизонта указывает на возможность разделения коллекторов на литотипы.

В соответствии с выполненным делением коллекторов парфеновского горизонта на три литотипа для каждого литотипа были построены индивидуальные дифференциальные распределения $dJ_{\text{ГК}}$ и $dJ_{\text{НК}}$ (рис. 2).

Из рис. 2, а видно, что дифференциальное распределение параметра $dJ_{\text{ГК}}$ для каждого из трех литотипов коллекторов парфеновского горизонта обладает собственным модальным значением.

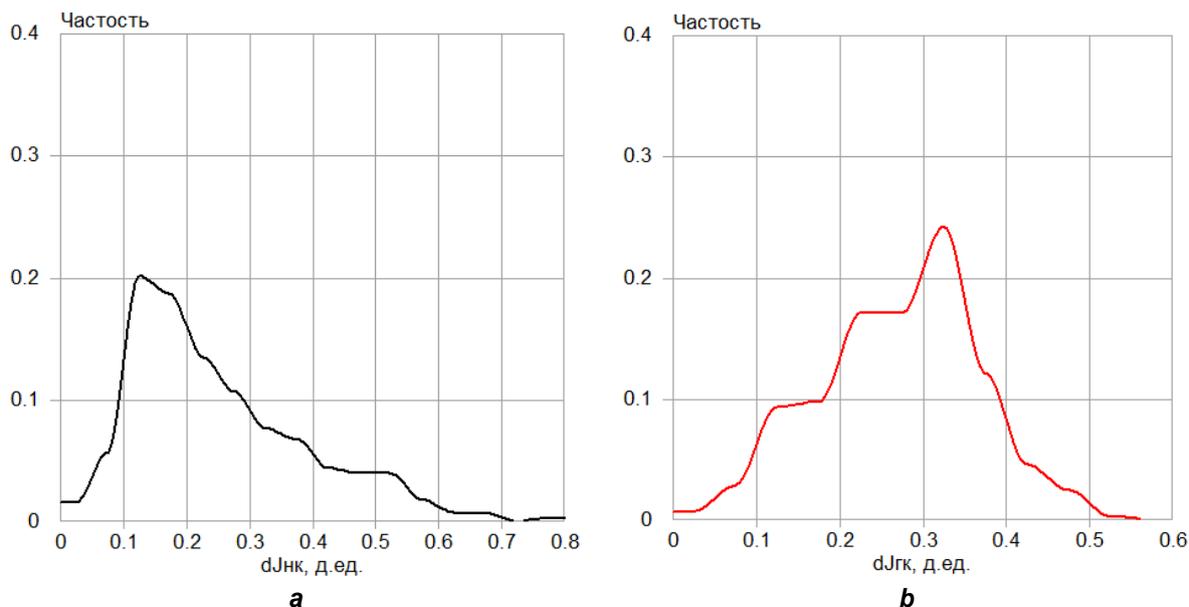


Рис. 1. Дифференциальные распределения двойных разностных параметров нейтронного каротажа $dJ_{\text{НК}}$ (а) и гамма-каротажа $dJ_{\text{ГК}}$ (б) для всех коллекторов парфеновского горизонта

Fig. 1. Differential distribution of the double difference parameters of the neutron logging $dJ_{\text{НК}}$ (а) and gamma-logging $dJ_{\text{ГК}}$ (б) for all reservoirs of the Parfenovsky horizon

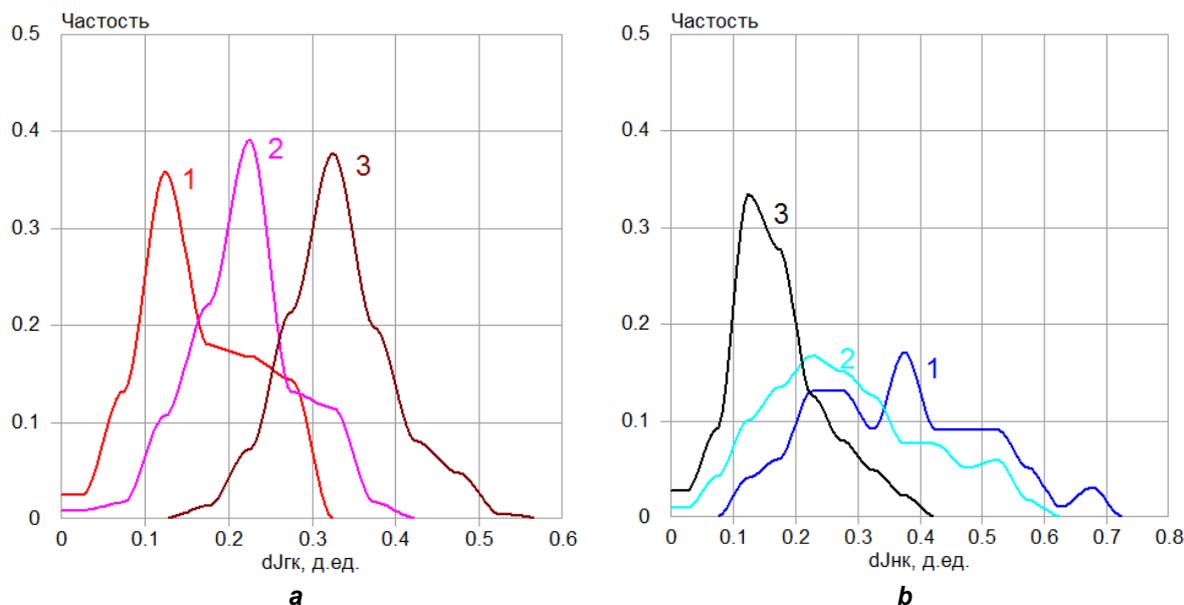


Рис. 2. Дифференциальные распределения двойных разностных параметров нейтронного каротажа $dJ_{нк}$ (а) и гамма-каротажа $dJ_{ек}$ (б) для трех литотипов коллекторов парфеновского горизонта: 1 – литотип ЛИТ 1; 2 – литотип ЛИТ 2; 3 – литотип ЛИТ 3
Fig. 2. Differential distribution of the double difference parameters of the neutron logging $dJ_{нк}$ (а) and gamma-logging $dJ_{ек}$ (б) for three lithotypes of reservoirs of the Parfenovsky horizon: 1 – lithotype LIT 1; 2 – lithotype LIT 2; 3 – lithotype LIT 3

Преобладающими значениями параметра $dJ_{ек}$ для песчаников литотипа ЛИТ 1 являются значения в диапазоне 0,1–0,15 д.ед., литотипа ЛИТ 2 – 0,15–0,25 д.ед., литотипа ЛИТ 3 – 0,25–0,4 д.ед. Наибольшими отличиями по показаниям ГК характеризуются коллекторы литотипов ЛИТ 1 и ЛИТ 3. Литотип ЛИТ 2 занимает промежуточное положение по показаниям ГК между литотипами ЛИТ 1 и ЛИТ 3, имея при этом более близкую и схожую характеристику с песчаниками пласта П₁.

На рис. 2, б мы наблюдаем отчетливую дифференциацию литотипов ЛИТ 1 и ЛИТ 3 по параметру $dJ_{ек}$. Преобладающим диапазоном изменения параметра $dJ_{нк}$ для песчаников литотипа ЛИТ 1 являются значения от 0,2 до 0,55 д.ед., литотипа ЛИТ 3 – от 0,1 до 0,2 д.ед. Как и в случае с параметром $dJ_{ек}$, из рис. 2, б мы видим, что по параметру $dJ_{нк}$ песчаники литотипа ЛИТ 2 также занимают промежуточное положение между песчаниками литотипов ЛИТ 1 и ЛИТ 3. По форме распределения и диапазону изменения параметра $dJ_{нк}$ песчаники литотипа

ЛИТ 2 близки к аналогичным характеристикам песчаников литотипа ЛИТ 1.

Существенных различий между коллекторами литотипов ЛИТ 1 и ЛИТ 2 парфеновского горизонта не выявлено, хотя каждый из литотипов, вероятнее всего, обладает своими особенностями гранулометрического и минералогического состава. Это предстоит выяснить при дальнейшем детальном анализе результатов лабораторных исследований ядра. На данном этапе анализа геолого-геофизических данных для этих двух литотипов (ЛИТ 1 и ЛИТ 2) характерны пониженные показания ГК, средние и повышенные показания НК, повышенные фильтрационные свойства ($K_{пр}$) по данным анализа ядра.

Выполненный анализ дифференциальных распределений параметров $dJ_{ек}$ и $dJ_{нк}$ позволяет провести обоснование количественных критериев разделения коллекторов парфеновского горизонта Ковыктинского ГКМ на литотипы. Для этого построим интегральные распределения параметров $dJ_{ек}$ и $dJ_{нк}$ (рис. 3).

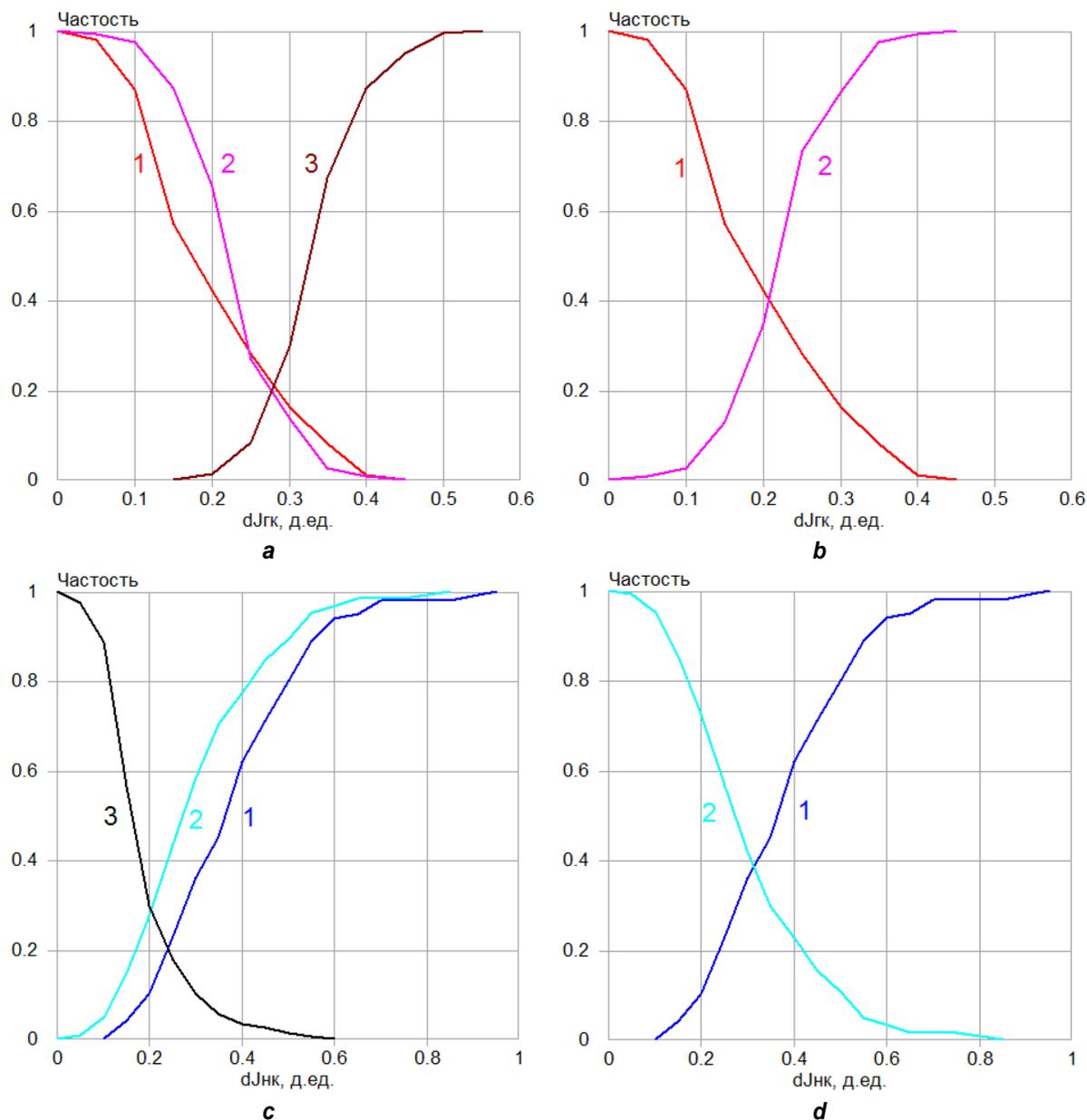


Рис. 3. Интегральные распределения двойных разностных параметров гамма-каротажа $dJ_{гк}$ (а, б) и нейтронного каротажа $dJ_{нк}$ (с, д) для обоснования разделения коллекторов парфеновского горизонта на литотипы: 1 – литотип ЛИТ 1; 2 – литотип ЛИТ 2; 3 – литотип ЛИТ 3
Fig. 3. Integral distribution of the double difference parameters of gamma-logging $dJ_{гк}$ (а, б) and neutron logging $dJ_{нк}$ (с, д) as substantiation of the division of the Parfenovsky horizon reservoirs into lithotypes: 1 – lithotype LIT 1; 2 – lithotype LIT 2; 3 – lithotype LIT 3

В результате построения интегральных распределений параметров $dJ_{гк}$ и $dJ_{нк}$ установлены следующие количественные критерии разделения песчаников парфеновского горизонта на литотипы ($dJ_{гк_гр}$ и $dJ_{нк_гр}$):

1. По параметру $dJ_{гк}$:
– для разделения литотипов ЛИТ 1 и ЛИТ 2 $dJ_{гк_гр} = 0,21$ д.ед.;

– для разделения литотипов ЛИТ 1 (ЛИТ 2) и ЛИТ 3 $dJ_{гк_гр} \sim 0,28$ д.ед.

2. По параметру $dJ_{нк}$:

– для разделения литотипов ЛИТ 1 и ЛИТ 2 $dJ_{нк_гр} = 0,31$ д.ед.;

– для разделения литотипов ЛИТ 1 и ЛИТ 3 $dJ_{нк_гр} = 0,24$ д.ед.;

– для разделения литотипов ЛИТ 2 и ЛИТ 3 $dJ_{нк_гр} = 0,20$ д.ед.



Наиболее надежно (достоверность ~ 80 %) решаемой является задача разделения коллекторов литотипов ЛИТ 1 (ЛИТ 2) и ЛИТ 3 по данным ГК с использованием параметра $dJ_{\text{жк}}_{\text{гр}} \sim 0,28$ д.ед., а также разделения коллекторов литотипов ЛИТ 1 и ЛИТ 3 по данным НК с использованием $dJ_{\text{нк}}_{\text{гр}} = 0,24$ д.ед.

Чуть менее надежно (достоверность ~ 70 %) решается задача разделения коллекторов литотипов ЛИТ 2 и ЛИТ 3 с использованием $dJ_{\text{нк}}_{\text{гр}} = 0,2$ д.ед.

Еще чуть менее уверенное (достоверность ~ 60 %) решение имеет задача по разделению коллекторов литотипов ЛИТ 1 и ЛИТ 2 с использованием параметра $dJ_{\text{жк}}_{\text{гр}} = 0,21$ д.ед. и параметра $dJ_{\text{нк}}_{\text{гр}} = 0,31$ д.ед.

По результатам проведенного анализа материалов ГИС и параметров, рассчитанных на их основе, в интервале коллекторов парфеновского горизонта необходимо отметить следующее:

– анализ дифференциальных распределений $dJ_{\text{жк}}$ и $dJ_{\text{нк}}$ (см. рис. 2) позволил подтвердить правомерность деления коллекторов на три литотипа;

– анализ интегральных распределений $dJ_{\text{жк}}$ и $dJ_{\text{нк}}$ (см. рис. 3) позволил определить количественные критерии и достоверность деления коллекторов на литотипы;

– анализ дифференциальных и интегральных распределений $dJ_{\text{жк}}$ и $dJ_{\text{нк}}$ подтверждает правомерность деления коллекторов парфеновского горизонта Ковыктинского ГКМ на три литотипа песчаников, так как по каждому литотипу обособляется одномодальное распределение значений $dJ_{\text{жк}}$; наиболее низкими показаниями ГК обладает литотип ЛИТ 1, наиболее высокими – литотип ЛИТ 3;

– учитывая полученные дифференциальные распределения параметров $dJ_{\text{жк}}$ (см. рис. 2, а) и $dJ_{\text{нк}}$ (см. рис. 2, б), их плавное изменение от литотипа ЛИТ 1 через литотип ЛИТ 2 к литотипу ЛИТ 3, сложную форму распределений, отсутствие пласта П₁ на обширной территории месторождения, наличие регенера-

ционно-кварцевого цемента, наличие карбонатизации в пласте П₁, следов пиритизации в подошвенной части пласта П₂, а также значительную изменчивость глинистой перемычки как между пластами П₁ и П₂, так и внутри пласта П₂, можно сделать вывод о том, что формирование отложений парфеновского горизонта происходило при неоднократной смене морских, прибрежно-морских и аллювиально-дельтовых условий осадконакопления, а также о том, что наряду с седиментационными факторами существенное влияние на формирование этих коллекторов оказали постседиментационные процессы.

Направлениями дальнейшего изучения строения коллекторов парфеновского горизонта должны быть:

– углубленный анализ результатов лабораторных исследований керна с целью выявления особенностей гранулометрического и литолого-минералогического состава песчаников-коллекторов (выявление литотипов коллекторов по данным анализа керна);

– разработка комплексного геофизического параметра, который позволит повысить достоверность разделения коллекторов на литотипы;

– разработка новой петрофизической основы комплексной интерпретации материалов ГИС с учетом выявленных литотипов коллекторов и зональности их распространения по площади месторождения.

Значимость и актуальность дальнейшего изучения парфеновского горизонта заключается в повышении достоверности оценки запасов углеводородов Ковыктинского ГКМ за счет учета особенностей литологического строения сложнопостроенных коллекторов по материалам ГИС.

Заключение

На основе проведенного исследования можно говорить о том, что анализ каротажных и керновых данных в интервале отложений парфеновского горизонта позволил выделить четыре литотипа



песчаников. Три литотипа из четырех относятся к песчаникам-коллекторам, а один – к песчаникам-неколлекторам.

Авторами выполнено обоснование правомерности деления и количественных критериев разделения коллекторов на три литотипа. Наиболее достоверным является разделение литотипов ЛИТ 1 (ЛИТ 2) и ЛИТ 3 по данным ГК с использованием двойного разностного параметра $dJ_{\text{ГК}}$, а также литотипов ЛИТ 1 и ЛИТ 3 по данным НК с использованием двойного разностного параметра $dJ_{\text{НК}}$. Сложный вид, а именно наличие значимых ступеней в правой части одномерных распределений параметра $dJ_{\text{ГК}}$ для литотипов ЛИТ 1 и ЛИТ 2 свидетельствует о возможном наличии еще нескольких литотипов песчаников в разрезе парфеновского горизонта, а также

о необходимости его дальнейшего детального изучения. Выделенные в первом приближении по материалам ГИС литотипы, их границы, а также выявленные критерии деления коллекторов парфеновского горизонта на литотипы в дальнейшем должны быть уточнены по данным исследования керна. Повышение достоверности деления коллекторов парфеновского горизонта на литотипы может быть достигнуто путем выработки и использования комплексного геофизического параметра на основе данных ГК, НК, АК, ГГК-П.

Также в результате представленного исследования определены направления дальнейшего изучения особенностей строения коллекторов парфеновского горизонта.

Библиографический список

1. Скузоватов М.Ю. Критерии оценки перспектив газоносности парфеновского горизонта центральных районов Ангаро-Ленской ступени // Геология нефти и газа. 2014. № 1. С. 101–109.
2. Скузоватов М.Ю. Применение комплекса геолого-геофизических данных при прогнозе газоносности вендского терригенного комплекса Ангаро-Ленской зоны газонакопления // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2015. № 6. С. 26–33.
3. Воробьев В.С. Фильтрационная неоднородность пород-коллекторов парфеновского продуктивного горизонта Ковыктинского газоконденсатного месторождения // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2011. № 8. С. 42–47.
4. Ахияров А.В., Орлов В.И., Бондарев А.Н. Зависимость продуктивности терригенных коллекторов от их фациальной принадлежности на примере парфеновского горизонта Ковыктинского газоконденсатного месторождения // Геофизика. 2007. № 6. С. 60–67.
5. Ахияров А.В., Земченков А.С. Пространственно-временной континуум палеогеографических обстановок седиментации терригенных отложений верхнего венда юго-западной части Сибирской платформы (на примере парфеновского продуктивного горизонта Ангаро-Ленской ступени и ботубинского – Непско-Ботубинской антеклизы) // Современные проблемы седиментологии в нефтегазовом инжиниринге: труды III Всерос. науч.-практ. седиментологич. совещ. Томск: Изд-во ЦППС НД, 2017. С. 149–170.
6. Пушкарева М.М., Хабаров Е.М., Варакина И.В. Литологическая характеристика парфеновского и ботубинского продуктивных горизонтов венда Ангаро-Ленской ступени и Непско-Ботубинской антеклизы // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 323. № 1. С. 78–83.
7. Смирнов А.С., Горлов И.В., Яицкий Н.Н., Горский О.М., Игнатьев С.Ф., Поспеев А.В. [и др.]. Интеграция геолого-геофизических данных – путь к созданию достоверной модели Ковыктинского газоконденсатного месторождения // Геология нефти и газа. 2016. № 2. С. 56–66.
8. Афонин И.В. Условия формирования парфеновского горизонта Ковыктинского месторождения (Восточная Сибирь) // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам IX Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых). В 2 т. Т. 1. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2017. С. 55–56.
9. Дробот Д.И., Пак В.А., Деятелилов Н.М., Хохлов Г.А., Карпышев А.В., Бердников И.Н. Нефтегазоносность докембрийских отложений Сибирской платформы, перспективы подготовки и освоения их углеводородного потенциала // Геология и геофизика. 2004. № 1. С. 110–120.
10. Барышев С.А., Барышев Л.А. Комплексная интерпретация и моделирование волновых полей на Ковыктинском месторождении // Геология нефти и газа. 2008. № 2. С. 52–58.
11. Вахромеев А.Г., Мышевский Н.В., Хохлов Г.А. Аномально высокие пластовые давления как фактор, осложняющий освоение углеводородных месторождений Восточной Сибири // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии: фундаментальный и прикладные аспекты: материалы Всерос. совещ.



Вып. 5. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2006. С. 98–119.

12. Барышев Л.А., Хохлов Г.А. Комплексная интерпретация данных сейсморазведки и ГИС на основе физико-геологической модели // Технологии сейсморазведки. 2006. № 3. С. 55–60.

13. Скузоватов М.Ю., Мальцева Е.В. Комплексирование данных сейсморазведки, ГИС и петрофизических исследований для оценки перспектив газоносности парфеновского горизонта центральных районов Ангаро-Ленской ступени // Актуальные проблемы геологии нефти и газа Сибири: материалы Всерос. науч. конф. мол. уч. и студ., посвящ. 80-летию акад. А.Э. Конторовича. Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН, 2014. С. 122–124.

14. Ильин А.И., Сверкунов С.А., Вахромеев А.Г., Буддо И.В., Мисюркеева Н.В., Агафонов Ю.А. [и др.]. Прогноз горно-геологических условий бурения разведочной скважины на примере Ковыктинского месторождения // Строение литосферы и геодинамика: материалы XXVII Всерос. молодеж. конф. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2017. С. 107–108.

15. Хабаров Е.М., Пушкарева М.М., Вараксина И.В. Седиментогенез и коллекторские свойства парфеновского продуктивного горизонта венда Ангаро-Ленской ступени // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2014. Т. 2. № 1. С. 195–199.

References

1. Skuzovatov MYu. Criteria of evaluating gas-bearing prospects of parphenov horizon of central areas of Angara-Lena step. *Geologiya nefi i gaza* = Russian Oil and Gas Geology. 2014;1:101–109. (In Russ.)

2. Skuzovatov MYu. Application of geological-geophysical data when predicting gas potential of the vendian terrigenic complex of Angara-Lena gas-bearing zone. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii* = Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2015;6:26–33. (In Russ.)

3. Vorob'ev VS. Filtration heterogeneity of rock-collectors of parfenovsky producing horizon of Kovyktinsky gas-condensate field. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii* = Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2011;8:42–47. (In Russ.)

4. Akhiyarov AV, Orlov VI, Bondarev AN. Terrigenous reservoirs productivity vs rock mass facial characteristics: parfyonov beds of the Kovykta gas/condensate field case history. *Geofizika* = Russian Geophysics. 2007;6:60–67. (In Russ.)

5. Akhiyarov AV, Zemchenkov AS. Space-time continuum of the sedimentation paleogeographic conditions of the Upper Vendian terrigenous deposits in the south-west part of the Siberian platform: a case study of the Parfenovsky productive horizon of the Angara-Lena stage and Botuobin – Nepo-Botuobin anteklise. In: *Sovremennye problemy sedimentologii v neftegazovom inzhiniringe: trudy III Vserossiiskogo nauchno-prakticheskogo sedimentologicheskogo soveshchaniya* = Current issues of sedimentology in oil and gas engineering: Proceedings of the 3d Russian Scientific and Practical Sedimentological Meeting. Tomsk: Center for Training and Retraining of Oil and Gas Industry Specialists; 2017. p.149–170. (In Russ.)

6. Pushkareva MM, Khabarov EM, Varaksina IV. Lithological characteristic of the Botuobinskiy and Parfenovsky productive Vendian horizons, Angara-Lena step and the Nepo-Botuobin anteklise. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2013;323(1):78–83. (In Russ.)

7. Smirnov AS, Gorlov IV, Yaickiy NN, Gorskiy OM, Ignatiev SF, Pospeev AV, et al. Integration of geological and geophysical data is a way to design an accurate model of the Kovykta gas condensate deposit. *Geologiya nefi i gaza* = Russian Oil and Gas Geology. 2016;2:56–66. (In Russ.)

8. Afonin IV. Formation conditions of parfenovsky horizon from the Kovyktinsk deposit (East Siberia). In: *Geologiya v razvivayushchemsya mire* = Geology in the developing world. In 2 vol. Vol. 1. Perm: Perm State National Research University; 2017. p.55–56. (In Russ.)

9. Drobot DI, Pak VA, Devyatilov NM, Khokhlov GA, Karpyshev AV, Berdnikov IN. Oil and gas content of the Precambrian deposits in the Siberian platform, prospects of the preparation and development of their hydrocarbon potential. *Geologiya i geofizika*. 2004;1:110–120. (In Russ.)

10. Baryshev SA, Baryshev LA. Integrated interpretation and wave field modeling in Kovykta field. *Geologiya nefi i gaza* = Russian Oil and Gas Geology. 2008;2:52–58. (In Russ.)

11. Vakhromeev AG, Myshevskii NV, Khokhlov GA. Abnormally high reservoir pressure as a factor complicating the development of hydrocarbon deposits in Eastern Siberia. *Sovremennaya geodinamika i opasnye prirodnye protsessy v Tsentral'noi Azii: fundamental'nyi i prikladnoi aspekty: materialy Vserossiiskogo soveshchaniya* = Modern geodynamics and harardous natural processes in Central Asia: fundamental and applied aspects: Proceedings of the All-Russian Meeting. Iss. 5. Irkutsk: Institute of the Earth Crust, SB RAS; 2006. p.98–119. (In Russ.)

12. Baryshev LA, Khokhlov GA. Complex interpretation of seismic and GIS data based on the physical-geological model. *Tekhnologii seismorazvedki*. 2006;3:55–60. (In Russ.)

13. Skuzovatov MYu, Mal'tseva EV. Integration of seismic, GIS and petrophysical data to assess the gas content prospects of the Parfenovsky horizon in the central areas of the Angara-Lena stage. In: *Aktual'nye problemy geologii nefi i gaza Sibiri: materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh i studentov, posvyashchennoi 80-letiyu*

akad. A.E. Kontorovicha = Current issues of oil and gas geology in Siberia: Materials of the All-Russian Scientific Conference of Young Scientists and Students Dedicated to the 80th Anniversary of A.E. Kontorovich. Novosibirsk: Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS; 2014. p.122–124. (In Russ.)

14. Il'in AI, Sverkunov SA, Vakhromeev AG, Buddo IV, Misyurkeeva NV, Agafonov YuA, et al. Forecast of mining and geological conditions for exploration well drilling: a case study of the Kovykta field. *Stroenie litosfery i geodinamika: materialy*

XXVII Vserossiiskoi molodezhnoi konferentsii = Structure of the Lithosphere and Geodynamics: Materials of the 27th All-Russian Scientific Youth Conference. Irkutsk: Institute of the Earth Crust, SB RAS; 2017. p.107–108. (In Russ.)

15. Khabarov EM, Pushkareva MM, Varaksina IV. The sedimentogenesis and reservoir properties of the vendian productive parfenovsky horizon of the Angara-Lena stage. *Interexpo GEO-Sibir'* = Interexpo GEO-Siberia. 2014;2(1):195–199. (In Russ.)

Критерии авторства / Authorship criteria

Кокарев П.Н., Диких И.А. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Pavel N. Kokarev, Ivan A. Dikih are the authors of the article, hold equal copyright and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All authors have read and approved the final version of this manuscript.

Сведения об авторах / Information about the authors



Кокарев Павел Николаевич,

начальник,

Центр обработки и интерпретации геофизических исследований в скважинах, гидродинамических исследований, Филиал «Газпром недра НТЦ» ООО «Газпром недра», 625000, г. Тюмень, ул. Герцена, 70, Россия,

✉ e-mail: p.kokarev@nedra.gazprom.ru

Pavel N. Kokarev,

Head,

Center for Processing and Interpretation of Geophysical Studies of Wells and Hydrodynamic Studies, Branch "Gazprom nedra NTC", LLC "Gazprom nedra", 70 Gertsena St., Tyumen 625000, Russia,

✉ e-mail: p.kokarev@nedra.gazprom.ru



Диких Иван Александрович,

заместитель начальника отдела петрофизики,

Центр обработки и интерпретации геофизических исследований в скважинах, гидродинамических исследований, Филиал «Газпром недра НТЦ» ООО «Газпром недра», 625000, г. Тюмень, ул. Герцена, 70, Россия,

e-mail: i.dikih@nedra.gazprom.ru

Ivan A. Dikih,

Deputy head, Petrophysics Department,

Center for Processing and Interpretation of Geophysical Studies of Wells and Hydrodynamic Studies, Branch "Gazprom nedra NTC", LLC "Gazprom nedra", 70 Gertsena St., Tyumen 625000, Russia,

e-mail: i.dikih@nedra.gazprom.ru