

УДК 550.3

МРНТИ 37.01.05

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108571>

Получена: 07.07.2022.

Одобрена: 07.12.2022.

Опубликована: 27.12.2022.

Научный обзор

Особенности выделения коллекторов с высокой радиоактивностью по данным геофизических исследований скважин

Г.Т. Жамалиденова, А.К. Джумагалиева

Атырауский филиал КМГ Инжиниринг, г. Атырау, Казахстан

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются особенности выделения пластов-коллекторов с высокой радиоактивностью по материалам геофизических исследований, применяемый комплексный подход при интерпретации исследований и анализ геолого-геофизического материала на примере меловых и юрских отложений месторождений Камышитовое Юго-Западное, Ботахан, Нуралы.

Целью работы является изучение распространения высокорadioактивных продуктивных пород-коллекторов, обоснование причин их возникновения и взаимосвязь с литологическими разностями осадочных фаций.

Ключевые слова: радиоактивность, спектральный гамма-картаж, порода, коллектор, объемная глинистость, водонасыщенность.

Как цитировать:

Жамалиденова Г.Т., Джумагалиева А.К. Особенности выделения коллекторов с высокой радиоактивностью по данным геофизических исследований скважин // *Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана*. 2022. Том 4, №4. С. 15–31. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108571>

UDC 550.3

CSCSTI 37.01.05

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108571>

Received: 07.07.2022.

Accepted: 07.12.2022.

Published: 27.12.2022.

Review article

Peculiarities of identifying reservoirs with high radioactivity according to well logging data

Guizhamal T. Zhamalidenova, Ainagul K. Dzhumagaliyeva

Atyrau branch KMG Engineering, Atyrau, Kazakhstan

ABSTRACT

This article discusses the peculiarities of identifying reservoirs with high radioactivity based on geophysical research materials, the integrated approach used in interpreting research and analyzing geological and geophysical material using the example of Cretaceous and Jurassic deposits of the South Western Kamyshitovoye, Botakhan, Nuraly fields.

The aim of the work is to study the distribution of highly radioactive productive reservoir rocks, substantiate the causes of their occurrence and the relationship with lithological differences of sedimentary facies.

Keywords: *radioactivity, spectral gamma ray logging, rock, reservoir, volumetric clay content, water saturation.*

To cite this article:

Zhamalidenova GT, Dzhumagaliyeva AK. Peculiarities of identifying reservoirs with high radioactivity according to well logging data. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2022;4(4):15–31. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108571>

ӨОЖ 550.3

ГТАХР 37.01.05

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108571>

Қабылданды: 07.07.2022.

Мақұлданды: 07.12.2022.

Жарияланды: 27.12.2022.

Ғылыми шолу

Ұңғымалардың геофизикалық зерттеу деректері бойынша радиоактивтілігі жоғары коллекторларды анықтау ерекшеліктері

Г.Т. Жамалиденова, А.К. Джумағалиева

ҚМГ Инжиниринг Атырау Филиалы, Атырау қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Бұл мақалада геофизикалық зерттеу материалдары негізінде радиоактивтілігі жоғары қабат жыныстарын анықтау ерекшеліктері, Оңтүстік Батыс Қамысты, Ботахан, Нұралы кен орындарының бор және юра шөгінділерінің мысалында зерттеулерді түсіндіруде және геологиялық-геофизикалық материалдарды талдауда қолданылатын кешенді тәсіл қарастырылады.

Жұмыстың мақсаты – радиоактивті өнімділігі жоғары қабат жыныстарының таралуын зерттеу, олардың пайда болу себептерін және шөгінді фациялардың литологиялық айырмашылықтарымен байланысын негіздеу.

Негізгі сөздер: радиобелсенділік, спектрлік гамма-каротаж, тау жынысы, коллектор, көлемді саздылық, сумен қаныққандық.

Дәйексөз келтіру үшін:

Жамалиденова Г.Т., Джумағалиева А.К. Ұңғымалардың геофизикалық зерттеу деректері бойынша радиоактивтілігі жоғары коллекторларды анықтау ерекшеліктері // *Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы*. 2022. 4 том, №4. 15–31 б. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108571>.

Введение

Естественная радиоактивность горных пород обусловлена примесями природных радиоактивных элементов, которые в земной коре находятся обычно в рассеянном состоянии.

Основными радиоактивными веществами, находящимися в составе земной коры, являются изотопы элементов урана (U^{238}), тория (Th^{232}) и калия (K^{40}). Содержание других радиоактивных элементов незначительно, и их наличие не оказывает существенного влияния на радиоактивность горных пород.

В зависимости от физико-химических условий образования осадочные породы обладают различным содержанием радиоактивных элементов и различаются по величине естественной радиоактивности. Их можно разбить на три группы:

1. К первой группе пород, содержащих сравнительно много радиоактивных веществ, относятся глины, глинистые сланцы, аргиллиты, глинистые алевролиты, вулканические пеплы, глауконитовые пески, калийные соли, кислые магматические (граниты, сиениты, гранодиориты и др.) и метаморфические (гнейсы) породы, в состав которых входят калиевые полевые шпаты.

2. Вторую группу пород с низкой радиоактивностью составляют гипсы, ангидриты, каменная соль, доломиты, известняки, крупнозернистые кварцевые песчаники, пески, а также угли.

3. В третью группу пород, обладающую средним содержанием радиоактивных веществ, относят пески, песчаники и карбонатные породы, содержащие в том или ином количестве примесь глинистого материала.

Повышенная радиоактивность глинистых пород, по сравнению с другими породами осадочного комплекса, объясняется их большой удельной поверхностью и способностью к адсорбции радиоактивных элементов, длительностью накопления пелитового материала, обеспечивающего увеличение содержания U^{238} , Th^{232} и K^{40} в осадке.

Интенсивность радиоактивного излучения горных пород зависит также и от степени радиоактивности насыщающих их вод. Наибольшую радиоактивность имеют высокоминерализованные глубинные воды, минимальной естественной радиоактивностью обладают пресные поверх-

ностные питьевые воды [1].

Геофизические методы исследования (далее – ГИС), основанные на использовании радиоактивных процессов (естественных и искусственно вызванных), происходящих в ядрах атомов элементов, называют радиоактивным каротажем (далее – РК). При изучении скважин, бурящихся на нефть и газ, широкое распространение получили следующие виды РК: гамма-картаж (далее – ГК), нейтронный картаж (далее – НК), гамма-гамма-картаж (далее – ГГК) и спектральный гамма-картаж (далее – СГК).

Методы естественной радиоактивности представлены гамма-картажем и спектральным гамма-картажем ($\sum J(U^{238}, Th^{232}, K^{40})$).

ГК повсеместно входит в обязательный комплекс ГИС, основан на измерении естественной радиоактивности породы вдоль ствола скважины, применяется для литологического расчленения разреза и оценки глинистости.

СГК определяет суммарную естественную радиоактивность породы и раздельное содержание в ней калия, урана и тория; используется для выделения аномалий ГК, не связанных с глинистостью, определения глинистости по кривым содержания тория, калия и ориентировочно минералогического состава глин [2].

На практике часто встречаются коллекторы с повышенным содержанием радиоактивных элементов. На первый взгляд их можно отнести к глинистым пластам. По комплексному подходу, используя данные керны, опробования, и по анализу проведенного каротажа, можно определить характер пласта. В выделении полимиктовых коллекторов особенно необходим метод СГК, поэтому в обязательный комплекс ГИС желательнее включить данный метод.

Как известно, главным методом определения глинистости является ГК, его интегральные и спектральные составляющие. Этот метод основан на регистрации гамма-лучей пород, обладающих высокой радиоактивностью, обусловленной содержанием в них радиоактивных элементов, в частности, урана, тория и калия. Считается, что содержание этих радиоактивных веществ пропорционально объёмному содержанию глин, что позволяет перейти от значений ГК к коэффициенту глинистости. Однако если это справедливо для тория и калия, то в отношении урана его высокое

содержание может быть вызвано другими факторами, не имеющими отношения к глинам. Именно подобный факт и наблюдается в коллекторах ниже приведенных месторождений, где высокая радиоактивность пород не всегда объясняется наличием глин, более того, высокорadioактивные зоны зачастую являются хорошими коллекторами.

Ниже рассмотрен ряд примеров геолого-геофизических материалов скважин, где в продуктивных горизонтах выделяются коллекторы с высокой гамма-активностью.

Месторождение Камышитовое Юго-Западное относится к Прикаспийскому осадочному комплексу. Глубокими и структурно-поисковыми скважинами пройдена вся толща надсолевых отложений и вскрыта соль. Надсолевой комплекс представлен отложениями триаса, юры, мела, неогена.

По данным гамма-каротажа, большинству коллекторов свойственны пониженные значения естественной радиоактивности. Исключение составляют пласты IV неокомского горизонта, которые в силу своей полимиктовости обладают максимальными показаниями ГК в разрезе (рис. 1). Часто повышенные значения ГК, иногда близкие к уровню глин, отмечаются в кровельной части апта и в маломощных пластах юрских горизонтов I2-J2, I3-J2, I4-J2, I5-J2 (рис. 2), что также вызвано присутствием полимиктовых частиц и наличием урановой компоненты в составе пород.

Породы меловой продуктивной толщи литологически сложены песками, песчаниками, алевролитами. Пески мелкозернистые, зеленовато-серые, слюдястые. Песчаники тех же оттенков, мелко-зернистые, слюдястые, слабоцементированные. Алевролиты тонко-, мелко-зернистые, глинистые. Встречаются прослои мергеля зеленовато-серого, крепкого. Глины, представляющие породы-покрышки, зеленовато-серые различных оттенков, слабо слюдястые, с обуглившимися растительными остатками. Часто переслаиваются с алевролитами, алевролитами, песчаником, реже мергелями.

На рис. 3 представлены результаты ГИС разведочной скважины 11 (1968 г.), где в отложениях нижнего мела в неокомском горизонте IV-пс залегают нефтенасыщенный пласт с повышенной радиоактивностью. Пласт опробован, получен приток нефти дебитом 2,95 м³/сут.

Аналогичный высокорadioактивный пласт-коллектор выделяется по корреляции в соседних скважинах. На структурной карте (рис. 4) можно увидеть их расположение, а на рис. 5 приведена корреляционная схема по скважинам.

Скважина 274 пробурена позднее, в 2013 г., в ней выполнен полный комплекс ГИС с регистрацией современных методов – гамма-гамма плотностного, акустического (далее – АК), нейтронного и спектрального гамма каротажей.

ГИС данной скважины проиллюстрирован на рис. 6, где нефтенасыщенный коллектор горизонта IV-пс четко выделяется по совокупности прямых признаков полного комплекса ГИС.

На спектральном каротаже напротив коллекторов отмечается повышенная гамма-активность по ГК при низком содержании K⁴⁰ и Th²³², но высокой концентрации U²³⁸.

Такая картина наблюдается против известковистых и алевритистых пород, в которых происходит интенсивное развитие естественной трещиноватости. Предполагается, что в зонах трещиноватости в результате циркуляции подземных вод происходит осаждение урана. Повышенная гамма-активность на кривой ГК обусловлена при этом повышенной концентрацией урана.

В таких случаях определение коэффициента глинистости пород целесообразно проводить по суммарной радиоактивности калиевой и ториевой компонент, исключая интервалы накопления урановой составляющей.

Породы юрской продуктивной толщи представлены песками с подчинёнными прослоями глин и песчаников. Пески серые, разнозернистые, уплотнённые, глинистые, с кварцевой галькой и прослоями глин серых, плотных, с обуглившимися растительными остатками. Песчаники серые, среднезернистые, крепкие, на известковистом и глинистом цементе. Глины бурые, тёмно-бурые, серые, буровато-серые, песчаные, с отдельными прослоями обогащёнными углистым веществом.

На рис. 7 представлен материал ГИС по эксплуатационной скважине 274, где в отложениях средней юры в горизонте I4-J2 выделены нефтенасыщенные пласты-коллекторы с повышенной гамма активностью (на уровне вмещающих глин).

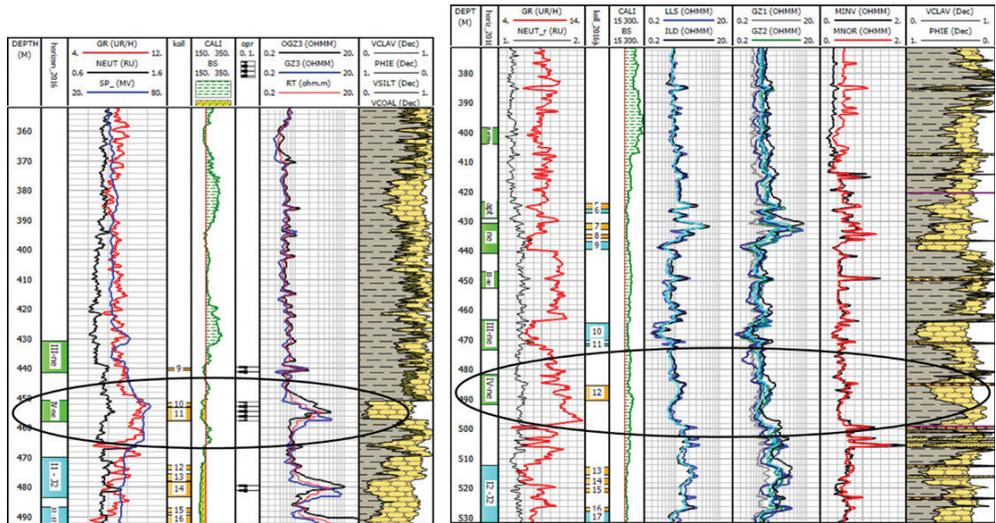


Рисунок 1. Пример выделения продуктивных коллекторов в IV неокомском горизонте месторождения Камышитовое Юго-Западное, отличающемся высокой естественной радиоактивностью

Figure 1. An example of the identification of productive reservoirs in the IV Neocomian horizon of the South Western Kamyshtovoye field, which is characterized by high natural radioactivity
 Слева – скважина 115, при испытании которой получена нефть, справа – неопробованная скважина 241
 On the left – well 115, during the testing of which oil was produced, on the right – unproven well 241

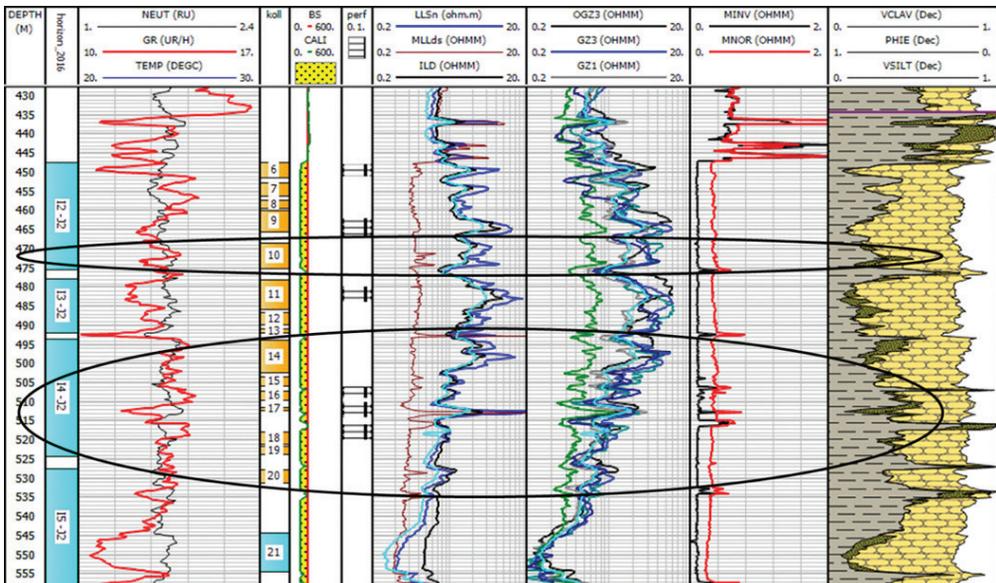


Рисунок 2. Пример выделения в юрских горизонтах продуктивных коллекторов с повышенной естественной радиоактивностью. Скважина 220 месторождения Камышитовое Юго-Западное

Figure 2. An example of the identification of productive reservoirs in the Jurassic horizons with increased natural radioactivity. Well 220 of the South Western Kamyshtovoye field

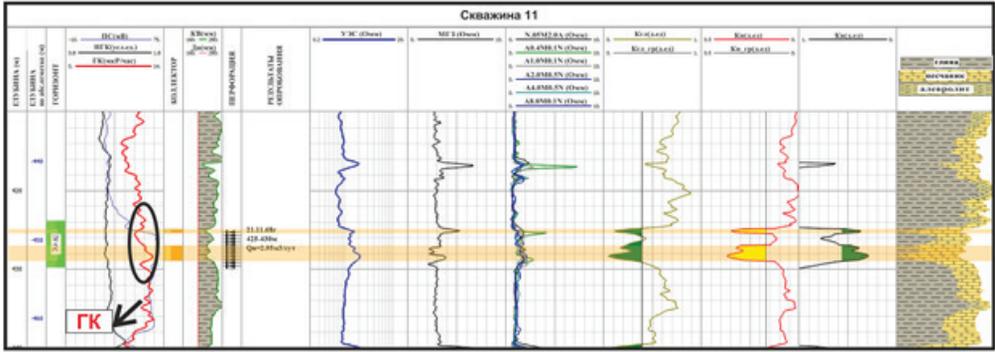


Рисунок 3. Скважина 11 месторождения Камышитовое Юго-Западное. Меловой горизонт IV-nc

Figure 3. Well 11 of the South Western Kamyshitovoye field. Cretaceous horizon IV-nc

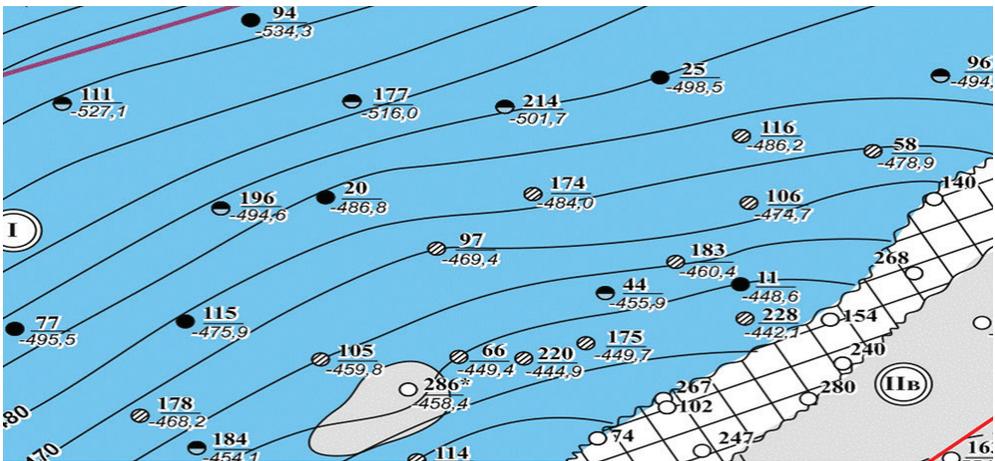


Рисунок 4. Фрагмент структурной карты по кровле IVнеокомского горизонта месторождения Камышитовое Юго-Западное

Figure 4. A fragment of the structural map along the top of the IV Neocomian horizon of the South Western Kamyshitovoye field

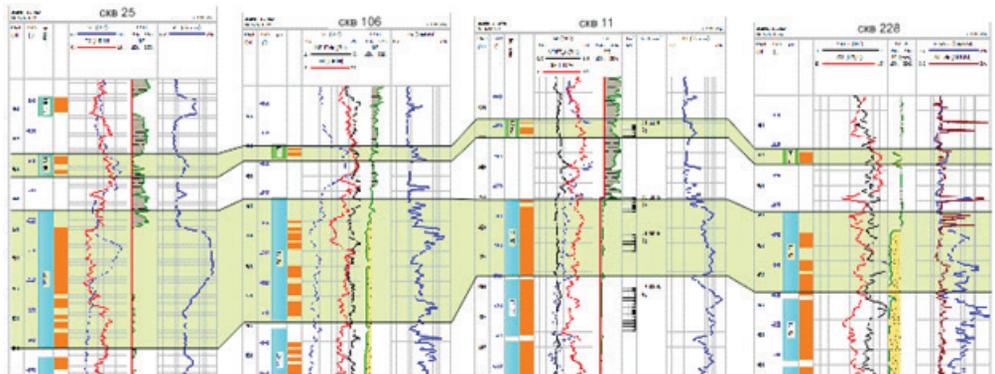


Рисунок 5. Корреляционная схема по скважинам 25-106-11-228 IV неокомского и I юрского горизонтов месторождения Камышитовое Юго-Западное

Figure 5. Correlation scheme for wells No. 25-106-11-228 of the IV Neocomian and I Jurassic horizons of the South Western Kamyshitovoye field

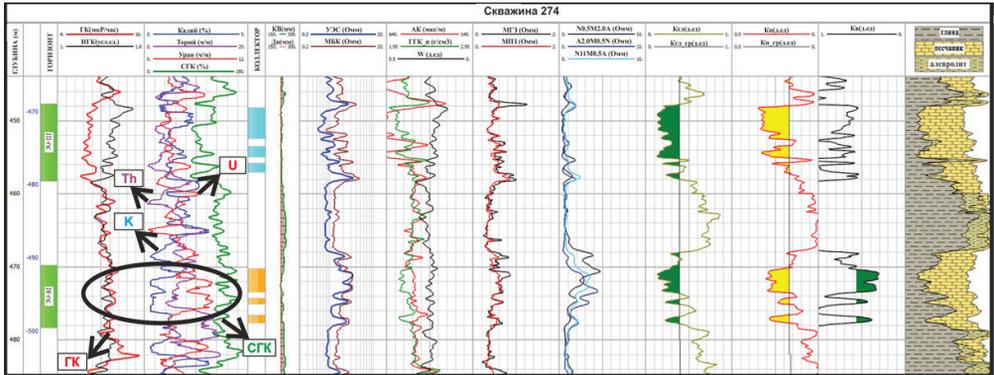


Рисунок 6. Скважина 274 месторождения Камышитовое Юго-Западное. Меловой горизонт IV-nc
Figure 6. Well 274 of the South Western Kamyshitovoye. Cretaceous horizon IV-nc

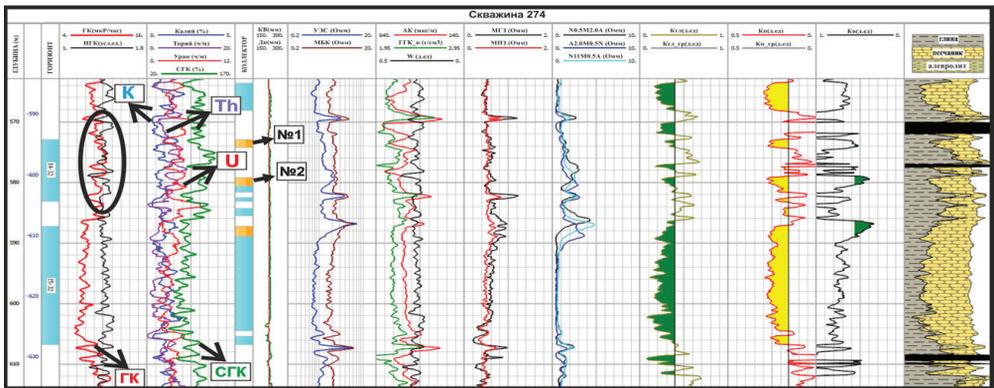


Рисунок 7. Скважина 274 месторождение Камышитовое Юго-Западное. Юрский горизонт I4-J2
Figure 7. Well 274 of the South Western Kamyshitovoye field. Jurassic horizon I4-J2

В скважине выполнен полный комплекс ГИС, в том числе и СГК. Верхний нефтенасыщенный коллектор №1 по данным ГК и суммарной радиактивности СГК отмечается максимумом.

По результатам спектрометрии естественного гамма-излучения по повышенному содержанию калия и пониженному содержанию урана и тория можно сделать вывод, что литологически коллектор представлен полимиктовым, калиево-полевошпатовым песчаником.

Нижний нефтенасыщенный коллектор №2 по повышенному содержанию тория и пониженному содержанию калия при среднем содержании урана можно отнести к торийсодержащему песчанику, в состав которого могут входить акцессорные минералы типа монацита, циркона и т.д.

Месторождение Нуралы относится к Южно-Тургайскому осадочному нефтега-

зоносному бассейну. На месторождении бурением вскрыты породы фундамента и осадочные отложения юрской, меловой, палеогеновой и неоген-четвертичной систем.

Арыскупский горизонт представляет собой базальную толщу нижнего мела, залегающего с угловым и стратиграфическим несогласием, распространен повсеместно.

На большей части площади арыскупский горизонт разделяется на две толщи. Верхняя толща представлена коричневыми алевритистыми глинами и слоем глинистого алевролита в кровле горизонта. Нижняя толща в северо-восточной части площади представлена ритмичным переслаиванием коричневых глинистых алевролитов и алевритистых глин, с прослоями песчаников и гравелитов коричневой и серой окраски, отложившимися в прибреж-

ной части обширного мелководного бассейна.

Песчаники мелкозернистые и средне-мелкозернистые, алевритистые, с примесью мелкого гравия переходят в несцементированные пески, иногда сцементированы глинисто-карбонатным цементом. Гравелиты песчаные, алевритистые, на карбонатном и глинисто-карбонатном цементе.

По шлифам породы-коллекторы представлены песчаником и алевролитом, по вещественному составу кластического материала, относятся преимущественно к полевошпаткварцевым.

С целью изучения эволюционных характеристик осадочных фаций на месторождении Нуралы выполнено разделение осадочных микрофаций путём анализа литологофациальных характеристик, что позволило отнести горизонты М-II-3 к аллювиальному конусу и делювиальной фации.

В пласте М-II-3 развит аллювиальный конус юго-западного направления, отложение от середины до края аллювиального конуса. И вокруг высокой точки па-

леоструктуры Западного Нуралы развиты отложения делювиальной фации. В вертикальном направлении данного пласта развиты тела аллювиального конуса двух периодов М-II-3а, М-II-3б, которые продвигаются от юго-западного направления к северо-восточному и вокруг высокой точки палеоструктуры смешиваются с делювиальными осадками от высокой точки палеоструктуры (рис. 8).

На рис. 9 приведен пример выделения газонасыщенного коллектора в арыскупском горизонте М-II-3 в скважине 92 месторождения Нуралы. Как видно по ГК, напротив коллектора отмечается аномально высокая радиоактивность. По результатам опробования зафиксирован выход газа с жидкостью в виде геля.

К сожалению, метод СГК на месторождении не проводился. Однако имеется метод самопроизвольной поляризации (далее – ПС), который при правильном соблюдении соотношения минерализации бурового раствора и пластовых вод чётко выделяет границы коллектора.

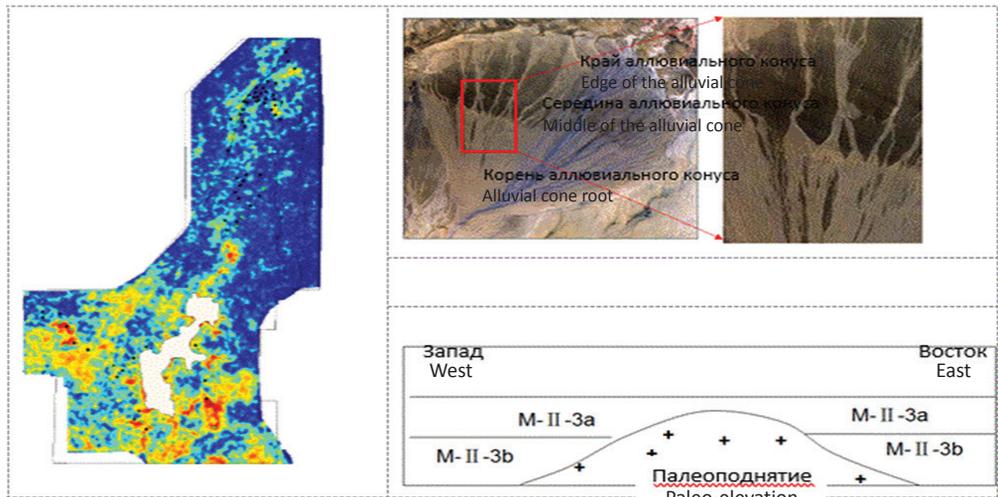


Рисунок 8. Модель осаждения горизонта М-II-3
Figure 8. The model of horizon M-II-3 subsidence

Объёмная глинистость в данном случае определена по ПС по наличию отрицательной аномалии амплитуды кривой, что является одним из прямых качественных признаков коллектора.

Ниже на рис. 10 показаны расположение скважины 92 на структурной карте и корреляция горизонта М-II-3 (рис. 11) с соседними скважинами.

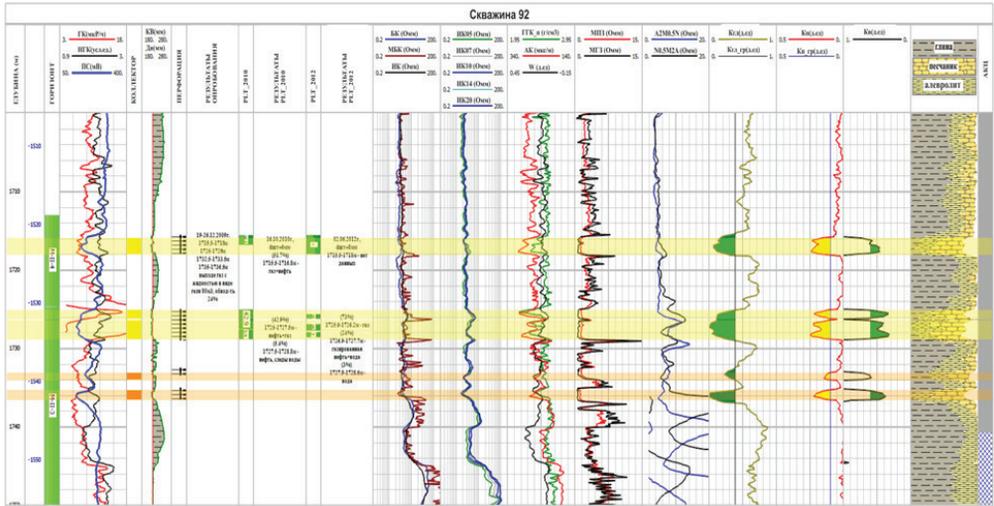


Рисунок 9. Геолого-геофизическая характеристика разреза скважины 92 месторождения Нуралы, горизонт М-II-3

Figure 9. Geological and geophysical characteristics of the section of well 92 of the Nuruly field, horizon M-II-3

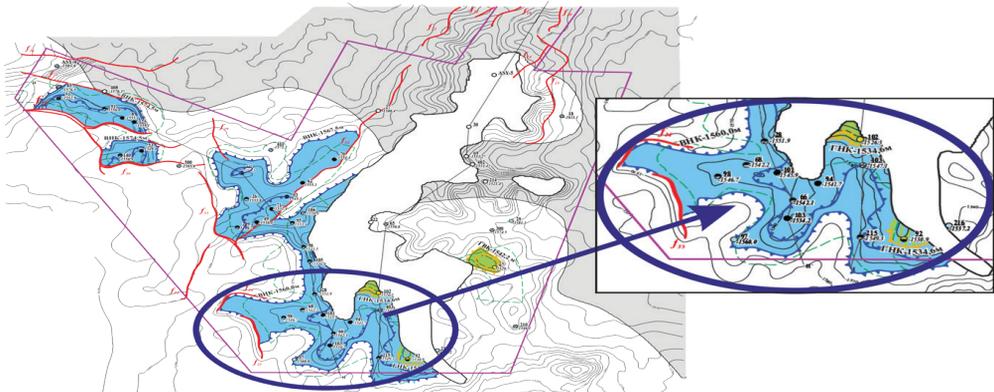


Рисунок 10. Структурная карта по кровле коллектора горизонта М-II-3
Figure 10. Structural map along the reservoir top of horizon M-II-3

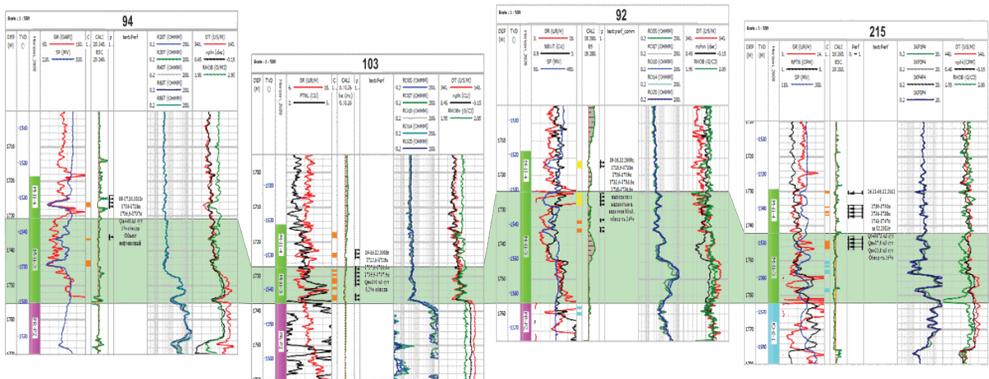


Рисунок 11. Корреляционная схема горизонта М-II-3
Figure 11. Correlation diagram of horizon M-II-3

Месторождение Ботахан является частью обширной Урало-Эмбинской нефтеносной области, которая, в свою очередь, составляет часть Прикаспийской нефтегазосной провинции, характеризующейся развитием соляно-купольной тектоники. На месторождении поисково-разведочными и эксплуатационными скважинами вскрыты отложения от неоген-четвертичных до кунгурского яруса нижней перми включительно.

Среднеюрский отдел (J2) юрской системы представлен переслаиванием песчано-глинистых отложений с включениями бурого угля. Пески и песчаники преобладают над глинами. В разрезе среднеюрских отложений выявлены I и II продуктивные на нефть горизонты. Горизонты расположены друг под другом, имеют идентичное строение.

По данным керна, породы-коллекторы I-J2 горизонта сложены песчаниками серыми, светло-серыми, тёмно-серыми, мелкозернистыми, средне-зернистыми, глинистыми, слабосцементированными, иногда плотными, преимущественно кварцевыми; песками серыми, светло-серыми, мелкозернистыми, рыхлыми; редко алевролитами серыми, разнозернистыми, слабоглинистыми, плотными, некарбонатными.

Породы-коллекторы II-J2 горизонта сложены песчаниками серыми, светло-серыми, тёмно-серыми, желтовато-бурыми, мелкозернистыми, среднезернистыми, редко крупнозернистыми, полимиктовыми, на карбонатно-глинистом цементе, слюдистыми, от слабо- до крепкосцементированных, с редкими включениями черного углестого вещества; алевролитами серыми, разнозернистыми, сцементированными, кварцево-слюдистыми, с углефицированными растительными остатками, на глинисто-карбонатном цементе, с прослойками песчаника, глины и слюды; реже песками мелкозернистыми, глинистыми, с включением обуглившихся растительных остатков. Песчаники и алевролиты иногда переслаиваются друг с другом.

Горизонт II-J2 служат ярким примером того, что помимо отдельных пластов выделяются целые полимиктовые горизонты.

Полимиктовый коллектор образуется, когда при осадконакоплении, помимо зёрен кварца, большой процент зёрен представлен полевыми шпатами и продуктами их химических преобразований. Образованная порода имеет значительную

примесь глинистых разностей (до 25–50%), ухудшающих её коллекторские свойства.

В песчаных породах полевые шпаты являются одними из основных породообразующих компонентов, они слагают обломочные зёрна, но некоторые разновидности (альбит и микроклин) могут быть образованы в процессе диагенеза и катагенетического уплотнения пород и являться аутигенными, нарастая в виде каёмки на материнских обломках.

Рентгено-дифракционный анализ (далее – XRD-анализ) на месторождении Ботахан проведён только в скважине 300, проанализированы 3 образца керна юрских отложений. Результаты XRD-анализа продемонстрировали полимиктовый состав пород с преобладанием кварца – 52,9%, полевых шпатов – 25,9% (из них ортоклаз – 8,7%, анортит – 1%, альбит – 16,3%). Также в породе присутствуют мусковит (4,3%), антигорит (1,7%), кальцит (5,1%), из глинистых минералов каолинит (6,8%).

На рис. 12 представлен геолого-геофизический материал по скважине 173 месторождения Ботахан. По результатам спектрометрии естественного гамма-излучения исследуемый разрез характеризуется довольно устойчивым содержанием Th^{232} и K^{40} . Исключение составляет нижние горизонты II-J2, характеризующиеся высокой гамма-активностью относительно верхних I-J2 горизонтов, повышенным содержанием K40 и Th232 и пониженным содержанием U238 , что свидетельствует о полимиктовом составе породы, а также накоплении акцессорных минералов, содержащих Th232 (монацит, циркон и др.), что может служить признаком границ циклического осадконакопления по исследованному разрезу.

В данном случае для определения глинистости использована кривая СГК, поскольку оценка объёмной глинистости по ГК носит недостоверный характер.

Ранее на данной площади при выполнении работ по оценке запасов фонд скважин состоял в основном из «старых» ГИС с ограниченным комплексом, и рассматриваемые выше пласты с высокой гамма-активностью оставались без внимания. Добавление в комплекс ГИС таких современных методов, как СГК, ГГК, высокочастотный индукционный каротаж, высокопараметрическое зондирование, привело к надёжному выделению высокорadiaк-

тивных коллекторов и позволило уточнить методику интерпретации ГИС «старых» скважин. В результате корреляции и переинтерпретации данных ГИС в «старых» скважинах были добавлены пропущенные пласты-коллекторы.

Примеры выделения таких пропущен-

ных коллекторов приведены на рис. 13 и 14, где наглядно показаны две колонки с коллекторами пересчета запасов (далее – ПЗ) за 2013 и 2019 гг. Выделенные в рамках ПЗ за 2019 г. пласты были опробованы, и их продуктивность подтверждена положительными результатами.

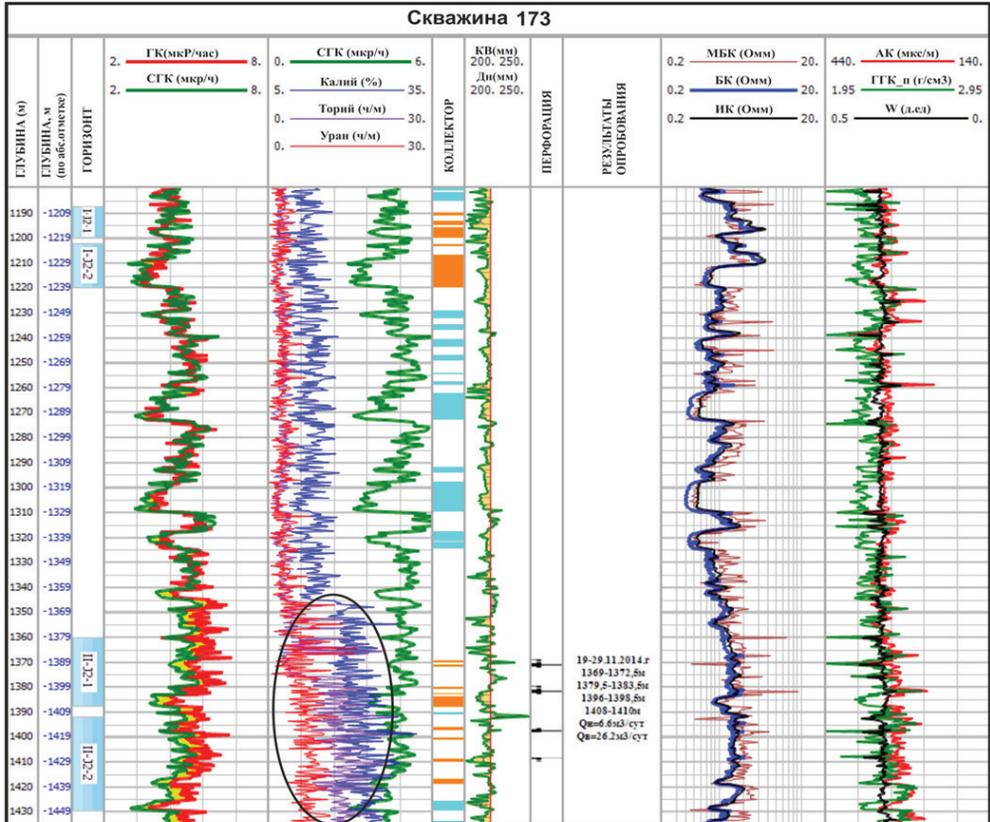


Рисунок 12. Скважина 173 месторождения Ботакхан (юрский горизонт II-J2)
 Figure 12. Well 173 of the Botakhan field (Jurassic horizon II-J2)

На рис. 15 представлено сравнение геолого-литологических профилей по юрским горизонтам ПЗ за 2013 и 2019 гг., где наглядно видно увеличение эффективных нефтенасыщенных мощностей за счёт добавления пропущенных коллекторов по «старым» скважинам и бурения новых скважин.

В предыдущих подсчётах запасов коэффициент водонасыщенности рассчитан по методу Арчи. В последнем пересчете запасов за 2019 г. был использован метод

определения коэффициента водонасыщенности с использованием данных электрического каротажа по уравнению «двойной воды».

Применение данного метода было обусловлено неоднозначностью показаний электрического каротажа против нефте- и водонасыщенных коллекторов, а также получением достаточно низких коэффициентов нефтенасыщенности в продуктивных пластах.

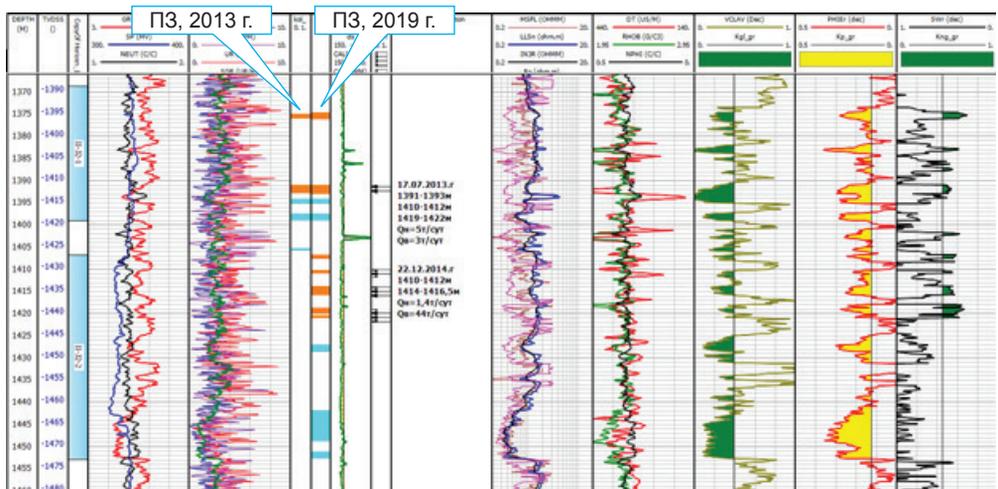


Рисунок 13. Сквжина 183 месторождения Ботакхан (юрский горизонт II-J1)
 Figure 13. Well 183 of the Botakhan field (Jurassic horizon II-J1)

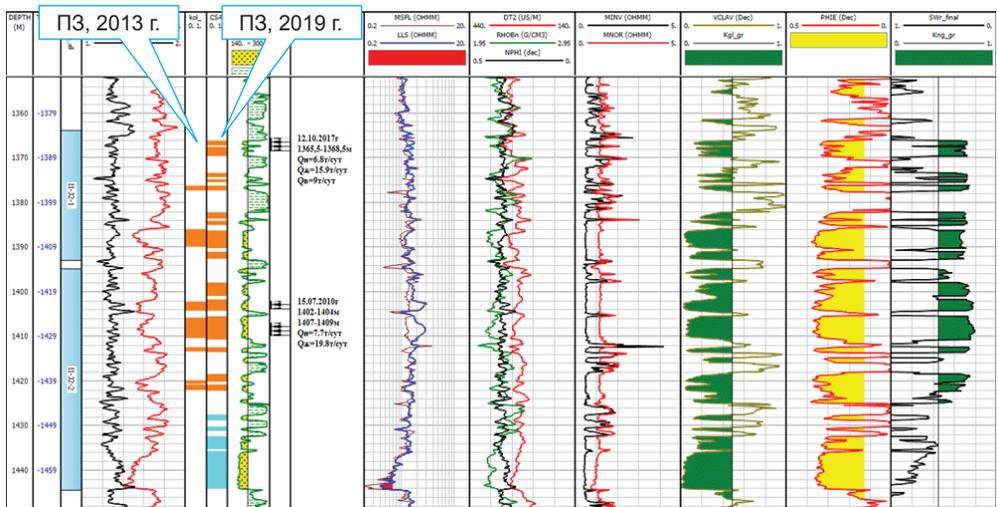


Рисунок 14. Сквжина 121 месторождения Ботакхан (юрский горизонт II-J2)
 Figure 14. Well 121 of the Botakhan field (Jurassic horizon II-J2)

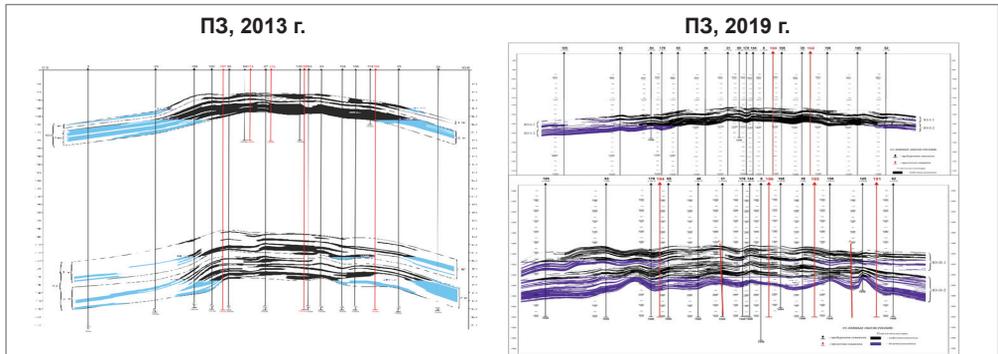
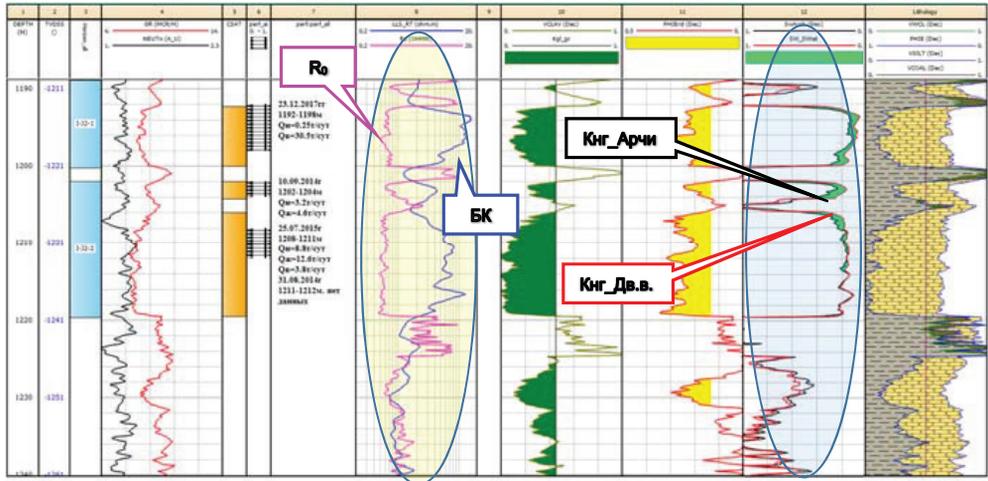


Рисунок 15. Сравнение геолого-литологических профилей юрских горизонтов ПЗ за 2013 г. с ПЗ за 2019 г. месторождения Ботакхан
 Figure 15. Comparison of RE of geological and lithological profiles of the Jurassic horizons for 2013 with the RE for 2019 of the Botakhan field

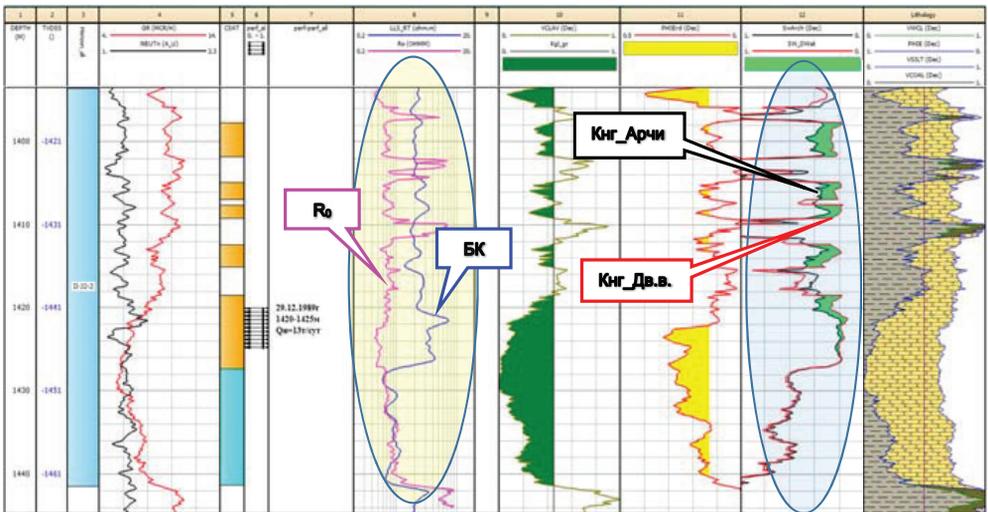
На рис. 16 приведены примеры определения насыщенности по уравнениям Арчи и «двойной воде», где наглядно показано, как в незаглинизированных чистых пластах насыщенности по двум методам близки по значениям, а в более заглинизированных коллекторах насыщенность по Арчи ниже, чем по «двойной воде» [3].

Для подтверждения правильности расчета насыщенности по уравнению

«двойной воды» рассчитана кривая R_o , характеризующая сопротивление пласта, содержащего воду. По методическим данным интерпретация считается верной, если при наложении на кривую сопротивления бокового каротажа (далее – БК) при одинаковом масштабировании кривая R_o сходится на глинах и водоносных коллекторах и расходится на нефтенасыщенных.



1)



2)

Рисунок 16. Скважина 66 месторождения Ботакхан. Определение насыщенности

Figure 16. Well 66 of the Botakhan field. Saturation

1) по методу Арчи / according to the method of Archie; 2) по «двойной воде» / by "double water"

В результате пересчета начальных геологических и извлекаемых запасов месторождения Ботакхан в 2019 г. произошло увеличение значений коэффициентов пористости и нефтегазонасыщенности, что привело соответственно к увеличению за-

пасов. В табл. 1 приведено сопоставление средневзвешенных значений коэффициента пористости (далее – K_p) и коэффициента нефтегазонасыщенности (далее – $K_{нг}$) по горизонтам ПЗ за 2013 и 2019 гг.

Таблица 1. Сопоставление средневзвешенных значений Кп и Кнг ПЗ за 2013 и 2019 гг.
Table 1. Comparison of weighted average values of Pr and Hsi of RE for 2013 and 2019

Горизонт Horizon	Пласт reser- voir	Кол-во скв., ед. Number of wells, unit	ПЗ, 2013 г. Reserves Estimation, 2013		Кол-во скв., ед. Number of wells, unit	ПЗ, 2019 г. Reserves recalculation, 2019	
			Кп Pr	Кнг HSi		Кп Pr	Кнг HSi
J-I	I	94	0,30	0,70	145	0,29	0,70
	II	95	0,30	0,70	148	0,30	0,72
J-II	I	69	0,28	0,56	116	0,28	0,65
	II	64	0,26	0,55	112	0,27	0,66

Насыщенность изменилась в сторону увеличения на 2–4% в I-объекте (J-I) и на 9–10% во II-объекте (J-II). Увеличение произошло за счёт новых пробуренных скважин и изменения методики интерпретации. Коэффициенты насыщенности, принятые для ПЗ в 2019 г., не противоречат значениям остаточной водонасыщенности, определённым по специальным анализам на керне скважины 300. По результатам относительной фазовой проницаемости и определения коэффициента вытеснения остаточная водонасыщенность изменяется от 0,257 до 0,80 д. ед., в среднем составляя 0,48 д. ед., остаточная нефтенасыщенность – от 0,16 до 0,42 д. ед., в среднем – 0,22 д. ед., коэффициент вытеснения составил в среднем 0,52 д. ед., изменяясь в пределах от 0,162 до 0,734 д. ед.

Выводы

При наличии в разрезе высокорadioактивных пород-коллекторов применение комплексного анализа геолого-геофизического материала (ГИС, ГТИ, керн, опробование) даёт возможность правильного построения структуры месторождения.

Содержание радиоактивных элементов в породе объясняется следующими факторами:

- породы с большой удельной поверхностью и способностью к адсорбции, адсорбирующие уран и другие радиоактивные элементы (глина);
- способность тяжелых окисленных нефтей обогащаться ураном за счёт извлечения его из пластовых вод;
- в результате циркуляции пластовых вод происходит осаждение урана;
- содержание урана может быть связано также с особыми геохимическими условиями осадконакопления отдельных интервалов.

Опираясь только на данные ГИС, вы-

сокорадиоактивные коллекторы можно ошибочно интерпретировать как неколлекторы. Примером могут служить рассматриваемые выше среднеюрские горизонты месторождений Камышитовое Юго-Западное и Ботахан, где были пропущены коллекторы, представленные полимиктовыми песчаниками.

Оценка объёмной глинистости по одному ГК – одна из сложных задач при интерпретации ГИС. Основной недостаток оценки глинистости коллекторов по геофизическим данным – это необходимость при расчётах в перенесении свойств глин, составляющих вмещающие породы, на глины коллектора.

Большие преимущества даёт применение спектрального гамма-метода, основной геологической интерпретации которого является корреляция содержания урана, тория и калия в горных породах с их литологическими и петрофизическими свойствами, а также генезисом этих отложений.

Использование СГК облегчает задачу определения объёмной глинистости. С его помощью разделяют аномалии гамма-активности, обусловленные глинистостью, содержанием полевого шпата, повышением содержания урана; определяют минеральный состав глинистых пород.

Располагая данными СГК, мы можем исключить долю урана из суммарной гамма-активности породы, определённой по ГК, и тем самым значительно уменьшить искажающее влияние алевrolита и органики при оценке глинистости по данным ГК [4].

Также стоит отметить, что любая электрометрическая аппаратура не позволяет достоверно оценить удельное электрическое сопротивление неоднородных коллекторов, занижая их истинное сопротивление. Данный эффект обусловлен шунтированием тока при наличии прово-

дящих флюидонепроницаемых микрослоев. Это обстоятельство приводит к резкому занижению Кнг в интервалах слоисто-неоднородных продуктивных коллекторов. В связи с этим в таких случаях при интерпретации ГИС рекомендовано использование модели расчёта насыщенности по уравнению «двойной воды», позволяющей повысить достоверность Кнг в «сложных» для электрометрии геологических ситуациях.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Жамалиденова Г.Т. — сбор и анализ, интерпретация материалов по месторождениям Ботакхан и Камышитовое Юго-Западное, редактирование рукописи, Джумагалиева А.К. — сбор, анализ, интерпретация данных исследования по

В целом правильное определение объёмной глинистости высокорadioактивных коллекторов влияет на верную оценку эффективных мощностей. Учёт этих параметров и выбор верной электрической модели расчёта насыщенности коллекторов в совокупности влияет на точность определения подсчётных параметров пласта по результатам ГИС, на объём газонефтенасыщенных пород и на геологические запасы месторождения.

месторождению Нуралы, редактирование рукописи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Gulzhamal T. Zhamalidenova — collection and analysis, interpretation of materials on the Botakhan and South Western Kamyshtovoye fields, editing of the manuscript, Ainagul K. Dzhumagalieva — collection, analysis, interpretation of materials on Nuraly field, revising the work.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заворотко Ю.М. Геофизические методы исследования скважин. Москва: Недра, 1983. С. 71–76.
2. Дьяконов Д.И., Леонтьев Е.И., Кузнецов Г.С. Общий курс геофизических исследований скважин. Москва : Недра, 1977. С. 200, 203.
3. Алексеев А.Д., Аниськин А.А., Волокитин Я.Е., и др. Опыт и перспективы применения современных комплексов ГИС И ГДИС на месторождениях Салымской группы // Инженерная практика. 2011, № 11–12.
4. Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. Москва : Недра, 1987. С. 124–125.

REFERENCES

1. Zavorotko YM. *Geophysical methods of well surveying*. Moscow: Nedra; 1983. P. 71–76.
2. Dyakonov DI, Leontiev EI, Kuznetsov GS. *General course of well logging*. Moscow: Nedra; 1977. P. 200, 203.
3. Alekseev AD, Aniskin AA, Volokitin YE, et al. Experience and prospects for the use of modern well logging and well testing systems at the fields of the Salym group. *Engineering practice*. 2011;11–12.
4. Itenberg SS. *Interpretation of well logging results*. Moscow: Nedra; 1987. P. 124–125.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ***Жамалиденова Гульжамал Тургалиевна**e-mail: *g.zhamalidenova@kmge.kz*.**Джумагалиева Айнагуль Карловна**e-mail: *a.jumagaliyeva@kmge.kz*.**AUTHORS' INFO*****Gulzhamal Zhamalidenova**e-mail: *g.zhamalidenova@kmge.kz*.**Ainagul Jumagaliyeva**e-mail: *a.jumagaliyeva@kmge.kz*.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author