

Выделение потенциально-продуктивных интервалов тутлеймской свиты центральной части Красноленинского свода

М.М. Фомина^{1*}, Н.С. Балушкина², О.В. Хотылев¹, А.Г. Калмыков², И.Я. Богатырева¹,
Г.А. Калмыков², И.О. Реуцкая², С.А. Романенко¹, М.С. Топчий¹, А.А. Алехин²

¹Фонд «Национальное интеллектуальное развитие», Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

В работе представлены результаты комплексных исследований керна тутлеймской свиты 16 скважин, пробуренных на площади 900 км² в районе Каменной вершины Красноленинского свода. Площадь характеризуется изменчивостью структурного плана, сохранившегося со времени накопления отложений свиты и повлиявшего на строения её разрезов. При описании разных типов разреза используются регионально прослеживаемые литологические пачки, которые четко фиксируются по керну и на диаграммах каротажа. В статье приведены результаты корреляции разрезов, показывающие изменчивость тутлеймской свиты по площади, выделены типовые разрезы для погруженной, склоновой и сводовой части исследуемого участка. Установлено, что в разрезе могут присутствовать два разных по типу коллекторских интервала: радиоляритовый и кремнисто-фосфатный со значениями средней пористости 7% и 15%, соответственно. Слои радиоляритов формируют основной потенциально-продуктивный интервал, выявлены во всех типах разреза на одном или двух стратиграфических уровнях: в разрезах сводового типа только в третьей пачке, в склоновых и погруженных разрезах – в первой, второй и третьей пачках. Кремнисто-фосфатный пласт в пятой пачке тутлеймской свиты является характерной чертой только разрезов сводового типа. Полученные результаты исследований позволяют с большой точностью прогнозировать распространение потенциально-продуктивных интервалов тутлеймской свиты и её стратиграфических аналогов на разных площадях.

Ключевые слова: Тутлеймская свита, потенциально-продуктивные интервалы, радиоляритовые слои, фосфорит, палеорельеф, течения, апвеллинг

Для цитирования: Фомина М.М., Балушкина Н.С., Хотылев О.В., Калмыков А.Г., Богатырева И.Я., Калмыков Г.А., Реуцкая И.О., Романенко С.А., Топчий М.С., Алехин А.А. (2021). Выделение потенциально-продуктивных интервалов тутлеймской свиты центральной части Красноленинского свода. *Георесурсы*, 23(2), с. 132–141. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.13>

Введение

Высокоуглеродистые «сланцевые» толщи относят к одним из самых перспективных источников пополнения ресурсной базы углеводородного сырья России, среди которых особенно выделяют наиболее битуминозные отложения баженовского горизонта (БГ), стратиграфический объем которого соответствует волжскому ярусу-низам берриаса. БГ широко представлен на территории Западной Сибири (ЗС). В его составе выделяются баженовская свита (БС), распространённая на наибольшей площади на этом возрастном уровне, а также, в неполном объеме – тутлеймская, мулымьинская, федоровская и др. свиты (Бочкарев и др., 2004).

Отправной точкой в изучении нефтегазоносности БГ стали события 1969 года, когда из БС разведочной скважины 24-Р Салымского месторождения был получен фонтан в 300–400 тонн нефти в сутки (также многие исследователи ссылаются на события 1968 года, когда был получен первый, но случайный промышленный приток из разведочной скважины 12-Р, достигавший по визуальным оценкам

700 тонн в сутки). После этого на месторождениях ЗС начали активно отбирать керн и испытывать скважины с отложениями БС. Однако, несмотря на 50 летний опыт её изучения и эксплуатации, у геологов-нефтяников остается проблема слабой предсказуемости ожидаемого дебита при испытаниях и разработке БГ. По статистике лишь каждая четвертая пробуренная скважина дает промышленный (более 1 т/сут при испытании в колонне и 5 т/сут при проведении в скважине гидроразрыва пласта (ГРП)) приток нефти (Временное методическое руководство..., 2017).

Уникальность пород БС (и её стратиграфических аналогов) описана в большом количестве публикаций. Все авторы подчеркивают сложность строения этого объекта, огромный нефтяной потенциал и проблематичность его реализации, обусловленной трудностями выделения и прогнозирования коллекторов в разрезах скважин.

В настоящей работе рассматривается вопрос прогнозирования коллекторов тутлеймской свиты (ТС), нижняя подсвита которой является полным возрастным аналогом БС, на примере Каменной вершины Красноленинского свода. Территория выбрана по причине доказанной нефтеносности ТС на ней. Данные по притокам отличаются высокой изменчивостью от более 100 тонн/сутки до их полного отсутствия. Важным обстоятельством является

* Ответственный автор: Мария Михайловна Фомина
e-mail: fomina-msu@mail.ru

наличие кернового материала, отобранного из 16 скважин с площади в 900 км². Наличие такого количества кернового материала для небольшой площади можно назвать уникальным, что дает дополнительные возможности при изучении разрезов ТС.

В статье приведена новая информация по литологическому составу и типизации разрезов ТС, их расчленению и корреляции. На основе комплексного изучения кернового материала по схеме, предложенной Калмыковым Г.А. (Калмыков, Балушкина, 2017), интерпретации геофизических исследований скважин (ГИС) и анализа промысловых данных проведено выделение в разрезах пластов коллекторов и их картирование по площади.

Объект исследования

Согласно Решению 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири (Бочкарев и др., 2004) **нижняя подсвита ТС** (нижнетутлеймская подсвита) является латеральным аналогом **БС**, входит в состав БГ и индексируется как пласт Ю0.

Верхнетутлеймская подсвита ТС, датируемая валанжином, не входит в состав баженовского горизонта. Однако она также является высокобитуминозной и продуктивной на некоторых территориях Красноленинского нефтегазоносного района. Это говорит о необходимости рассмотрения всего стратиграфического диапазона битуминозных отложений **ТС** как нефтегазоносного объекта.

В основе работы лежит геолого-геофизическая характеристика разрезов ТС 16 скважин, пробуренных на площади центрального участка Красноленинского свода, а именно Каменной вершины, Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна (НГБ) (рис. 1)

На момент накопления ТС данная территория представляла собой участок с расчлененным палеорелефом, где палеоподнятиями являлись выступы фундамента (Сурков, Жеро, 1981), которые продолжали воздыматься в течение всего юрского периода.

Пять исследованных скважин относятся к сводовой части (рис. 2, темно-оранжевый цвета и оранжевые цвета), шесть скважин относятся к склоновой части (бежевый цвет), пять скважин из погруженной части (желтые и зеленые цвета). Относительный перепад высот поднятия составляет 300 м.

Представленный керном стратиграфический интервал помимо ТС (общий объем исследованного керна составил 304 м) включает фроловскую, абалакскую, тюменскую свиты, а также породы доюрского основания.

Методы и методики

Для выделения коллекторов и прослеживания их распространения по площади проведены исследования керна. Наличие углеводородных соединений (УВС) в системе поровых каналов определено по результатам пиролитических исследований, объем порового пространства и проницаемость пород определялись газоволюметрическим методом. Морфология пор изучалась путём анализа пород в шлифах и под растровым электронным микроскопом (РЭМ).

По данным пиролитических исследований пород нефтенасыщенные интервалы выделялись по высоким значениям индекса продуктивности $PI = S1 / (S1 + S2)$ (более 0,3 по результатам исследования нефтенасыщенных коллекторов в породах баженовской свиты и её аналогов, находящихся на разных стадиях катагенеза), отношения параметров $S1/S2$ (Ларская, Горюнова, 1992) и с помощью «кроссовер эффекта» (отношение параметров $S1$ и $ТОС$), предложенного Н.В. Лопатиным в 2003 году (Lopatin, Zubairaev, 2003). Нефтенасыщенные интервалы характеризуются высокими значениями параметра $S1$ (отражает количество легких УВС и может достигать 20 мг УВ/г), величина которого определяется как концентрацией подвижных УВС, так и физически связанных соединений. Высокие значения перечисленных параметров свидетельствуют о наличии подвижных УВС, которые зачастую располагаются в открытых порах. Для оценки ёмкости этих пор выполнялись исследования цилиндрических образцов до экстракции газоволюметрическим методом.



Рис. 1. Положение изучаемого объекта на общей территории России (цветом помечены наиболее крупные нефтегазоносные бассейны)

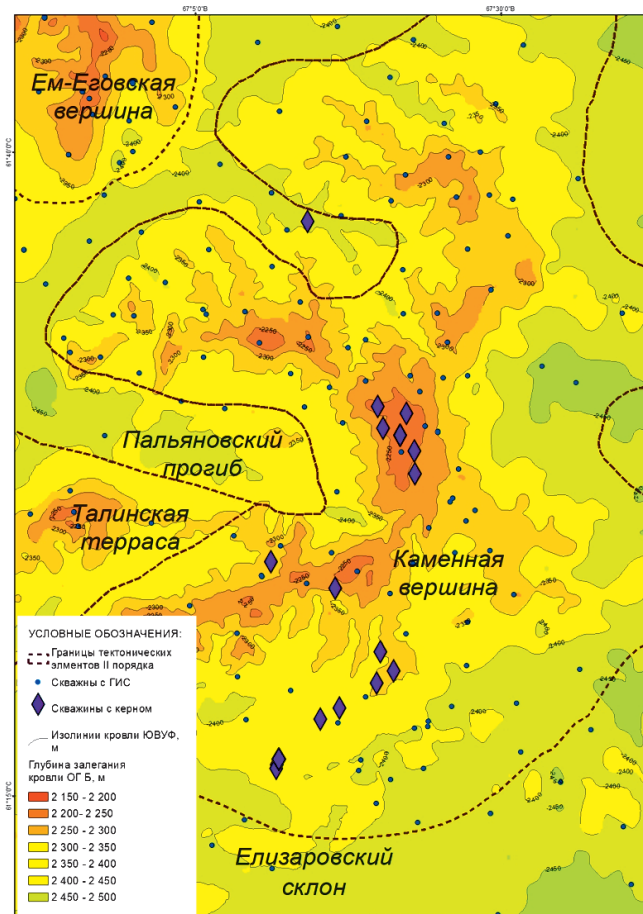


Рис. 2. Структурная карта по кровле тутлеймской свиты с вынесенным положением скважин: опорных, с результатами исследованиями керн и с комплексом ГИС

В целом породы ТС характеризуются низкой динамической пористостью ($K_p=0,5 \div 1,5\%$), но некоторые интервалы разреза могут иметь более высокие значения. Коллекторские интервалы выделялись по превышению K_p над граничным значением 6%. Данный критерий был получен путем соотнесения удельного дебита нефти из баженовской свиты и её аналогов, и K_p , полученного на образцах керн. На рисунке 3 приведен график, полученный Калмыковым Г.А. (Калмыков и др., 2017), демонстрирующий, что промышленные притоки нефти из битуминозных пород БГ можно ожидать только при $K_p > 6\%$.

Для характеристики коллекторов и понимания их генезиса, необходимо изучить состав и структуру пустотного пространства. Для этого при описании шлифов определялся тип пустот, морфометрические параметры их распределения, сообщаемость, особенности заполнения пор, а также взаимоотношения с вмещающей минеральной матрицей. При исследовании в шлифах не могут быть описаны объекты размером менее 0,005 мм, поэтому для более детального изучения структуры порового пространства и состава пород, выделения отдельных минералов в объеме выполнялось изучение пород методом РЭМ. Для определения минерально-компонентного состава (МКС) пород использовался комплекс аналитических методов, включающий изучение петрографических шлифов, рентгенофлуорисцентный и рентгено-фазовый анализ.

На следующем этапе стояла задача распространения коллекторских интервалов по площади изучаемого объекта. Для этого использовались данные комплекса ГИС

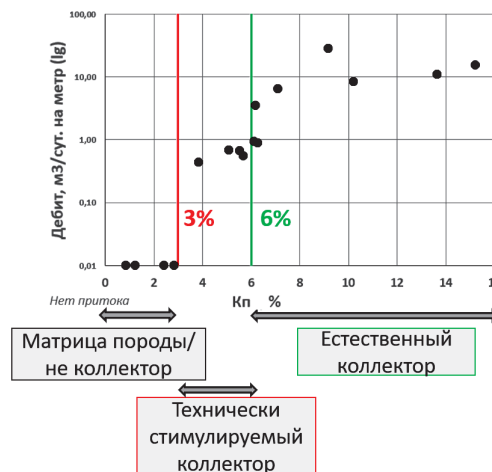


Рис. 3. Соотношение удельного дебита нефти из битуминозных пород БГ и коэффициента подвижной пористости (Калмыков и др., 2017)

по 150 скважинам. В большинстве скважин комплекс ГИС включал следующие виды каротажа: гамма (GR), нейтронный (NGR), плотностной (GGR), методы электрометрии (кажущееся сопротивление (GZ, PZ), боковой (BK) и индукционный (IK), метод самопроизвольной поляризации (PS), каверномер (DS), реже акустический (AK). Часто в изучаемых скважинах комплекс был ограничен следующими методами: GR, NGR и методами сопротивления. Основная сложность при работе с данными ГИС в высокоуглеродистых отложениях – это невозможность прямого выделения пластов коллекторов в скважинах по комплексу ГИС (Калмыков, Балущкина, 2017). Фактически рассчитать пористость по данным имеющегося комплекса ГИС невозможно из-за существенного количества керогена в составе пород, который напрямую влияет на показания методов, традиционно использующихся с целью оценки пористости, малой мощности коллекторских интервалов и низких значений пористости. Поэтому при анализе геофизических данных выделяются не коллекторы, а «потенциально-продуктивные интервалы» (ППИ) (Зорина, 2015). Под ППИ понимают литотип (иногда группу литотипов) определенного состава, имеющий фиксированное положение в разрезе, в котором возможно наличие коллектора, подтверждаемого исследованиями керн в опорных скважинах и/или результатами опробований опытно-промышленной эксплуатации скважин. ППИ надежно выделяются по кривым каротажа. Количество ППИ и их положение в разрезе определяется **типом разреза** конкретной скважины. Результаты исследования нескольких скважин и установление связей «кern-ГИС» позволяют распространить классификационные характеристики по площади исследуемого объекта и выявить наиболее перспективные участки с точки зрения поиска и добычи нефти.

Результаты исследований

Типы разреза тутлеймской свиты Каменной вершины

Во всех опорных скважинах (16 скважин с керном) проводились литолого-палеонтологические исследования с выделением и описанием литологических слоев и фаунистических остатков, объединение их в пачки с определением их возраста и геофизических характеристик.

Это позволило сопоставить разрезы и охарактеризовать по керну, ГИС и стратиграфической полноте разные участки палеорельефа (рис. 2).

В целом ТС является высокоуглеродистой карбонатно-глинисто-кремневой толщей, но разрез нельзя назвать литологически однородным. Описанные разрезы ТС можно разделить на две категории: полные и сокращенные. Полные разрезы, в которых присутствуют шесть пачек (Панченко, 2016), вскрыты скважинами на наиболее погруженных участках территории, мощности отложений здесь составляют 35–60 м (**погруженный тип**). Скважины, приуроченные к самым приподнятым участкам территории, характеризуются наименьшими мощностями отложений (от 10 до 25 м) и отсутствием части нижних пачек ТС – сокращенные разрезы (**сводный тип**). На наиболее возвышенных участках нижняя часть разреза отсутствует вовсе (рис. 4). Такое строение связано с расположением скважин в привершинной части поднятия, которая на ранних этапах осадконакопления представляла собой островные участки и была затоплена позже остальной территории. Соответственно, осадконакопление на островах не происходило. О существовании многочисленных островов в районе Красноленинского свода перед началом баженовского осадконакопления говорится в палеогеографических работах разных лет (Корж, 1978), а выводы о продолжении существования части остров и к концу титонского времени получены на основе исследований авторов данной статьи по новым скважинам, пробуренным в этом районе.

На основании интерпретации комплекса ГИС, расчета общих мощностей ТС, наличия и изменения мощности отдельных литологических пачек на керне, проведена типизация разрезов ТС по всей территории исследований.

По данным ГИС однозначно выделяются пачки, имеющие контрастный литологический состав. Шестая пачка (6) из-за высокого содержания пирита (до 30%) характеризуется низкими значениями сопротивления (ВК), вплоть до 0,1 Ом, пятая пачка (5) часто обладает высокой карбонатной составляющей (повышенные значения ВК, NGR), четвертая пачка (4) обладает повышенным содержанием органического вещества (высокие значения GR). Пачки 1–3 преимущественно глинисто-кремнистого

и кремнисто-глинистого состава, отличаются только комплексами палеобиоты, поэтому по данным ГИС они неразделимы, объединяются в одну нижнюю пачку (LB-low bazhen) (рис. 5а). Относительно верхней части характеризуется более низкими значениям GR, ВК и более высокими значениями NGR. Именно, в них содержатся кремнистые, радиоляритовые породы, которые могут являться хорошими коллекторами нефти.

В результате выделения и корреляции пачек по площади обосновано, что категорию полных разрезов, выделенных по керну, по данным ГИС можно подразделить на две, добавив переходный тип, к которому относятся разрезы склоновых участков территории с наличием всех пачек, но при этом мощности этих пачек несколько меньше (**склоновый тип**, рис. 5б,5в).

Коллекторы ТС

В результате анализа распределения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) по разрезам опорных скважин выявлено 2 интервала, которые характеризуются повышенными значениями коэффициентов динамической пористости ($K_p > 6$). Первый интервал приурочен к нижней части разреза (пачки 1–3), а второй – к верхней (пачка 5).

Нижний интервал связан со слоями радиоляритов, в которых прошло растворение скелетов радиолярий и сформировалось поровое пространство, заполнившееся углеводородами. Верхний интервал приурочен к кремнисто-фосфатным слоям, которые подверглись растворению кислыми флюидами с формированием пустот (рис. 6).

Выявлено, что радиоляритовые слои (РС) распространены в пределах рассматриваемой территории не повсеместно. Во-первых, РС отсутствуют в северо-западной части территории (скв. 1, рис. 7), что можно объяснить моделью формирования, предложенной Хотылевым О.В. (Хотылев и др., 2019). Согласно этой модели, формирование пластов радиоляритов является результатом действий палеотечений. Наибольшие мощности РС связаны с «подветренной» стороной островов и поднятий, а также с их вершинами, где интенсивность потока течений резко падала. С «наветренной» стороны – в условиях интенсивного течения, РС формироваться не будут, либо их образование будет носить крайне локальный характер.

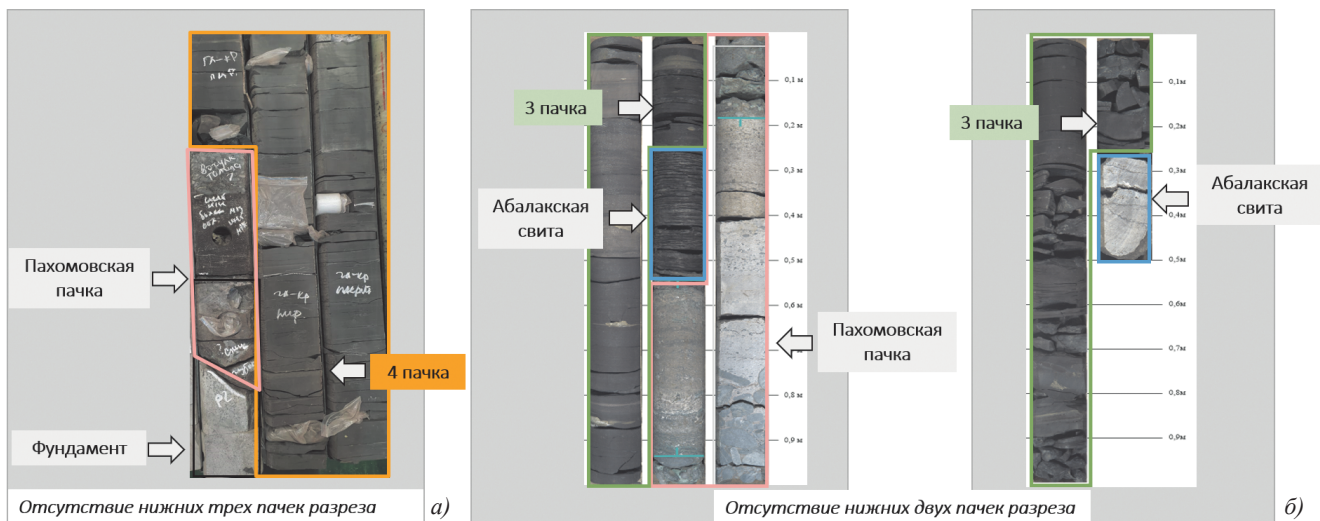


Рис. 4. Керновые колонки отложений ТС из сводовой части исследуемой территории (а – отсутствие нижних трех пачек разреза; б – отсутствие нижних двух пачек ТС)

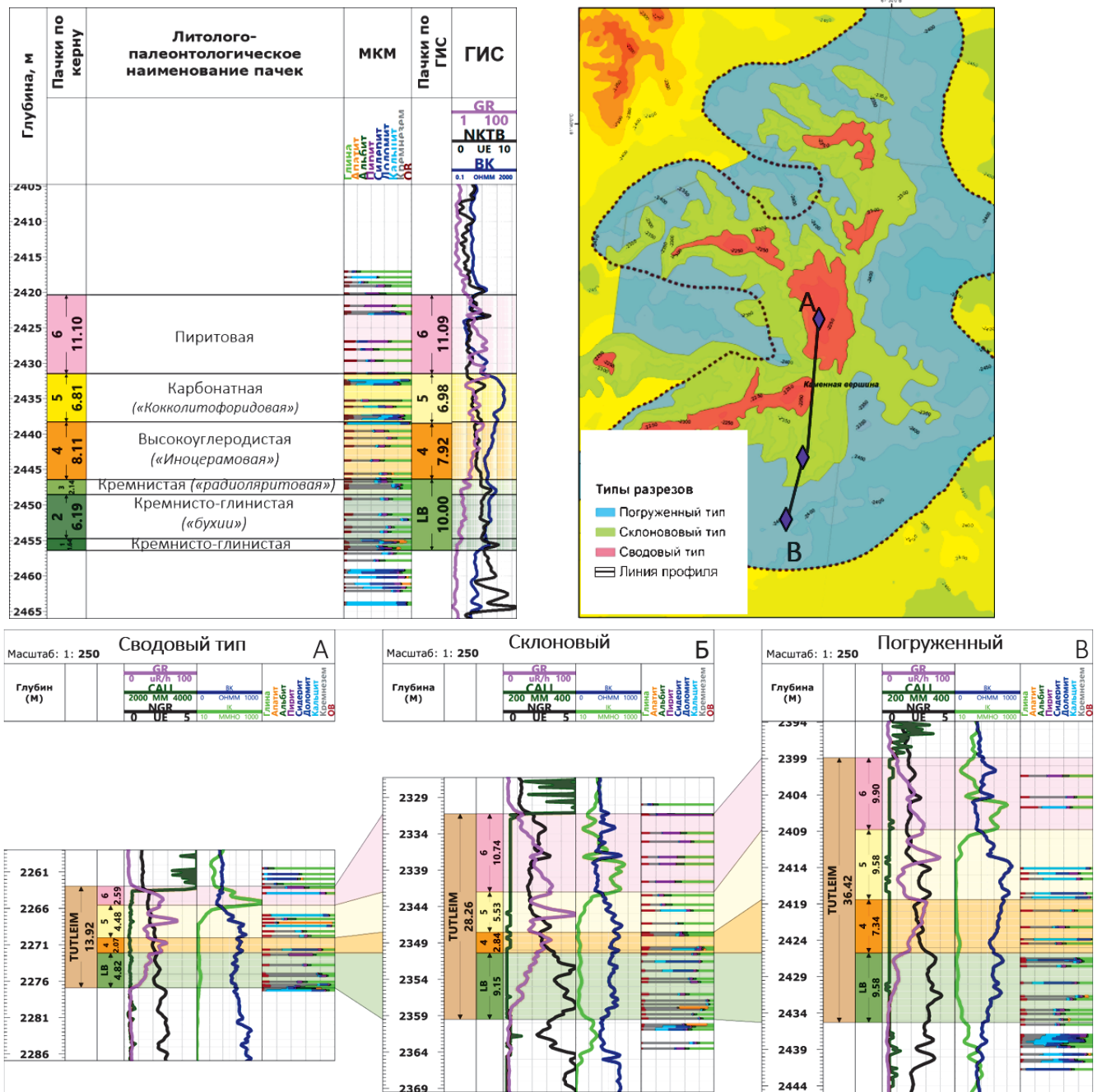


Рис. 5. Литолого-геофизические характеристики ТС Каменной вершины. а) сводный разрез ТС, б) Карта типов разрезов ТС, в) Корреляция скважин по линии профиля А-В

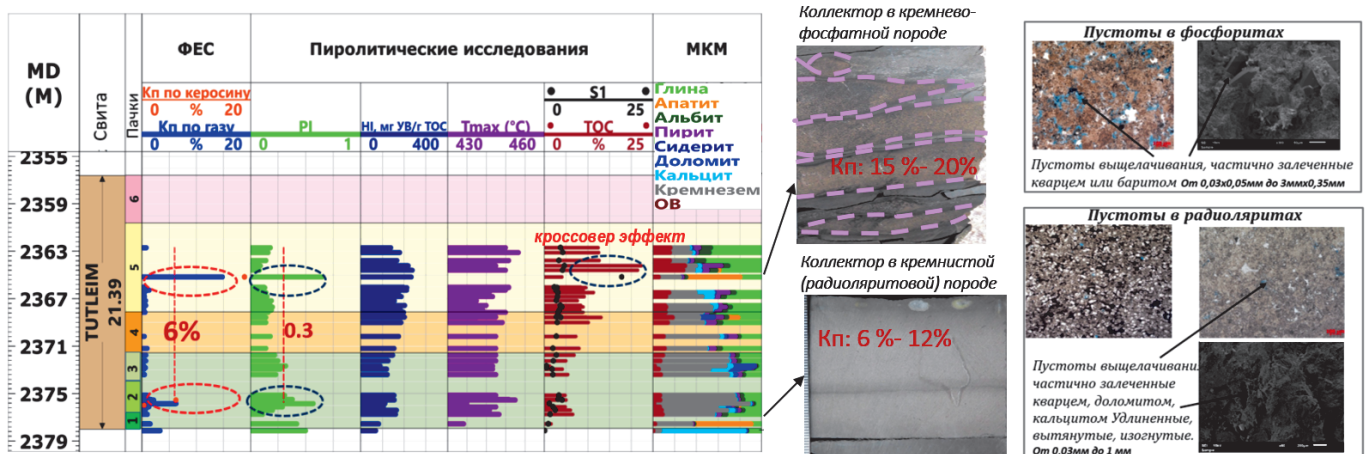


Рис. 6. Геолого-геофизический планшет по одной из скважин Красноленинской группы месторождений с выделенными коллекторами (очерчены красным пунктирным контуром)

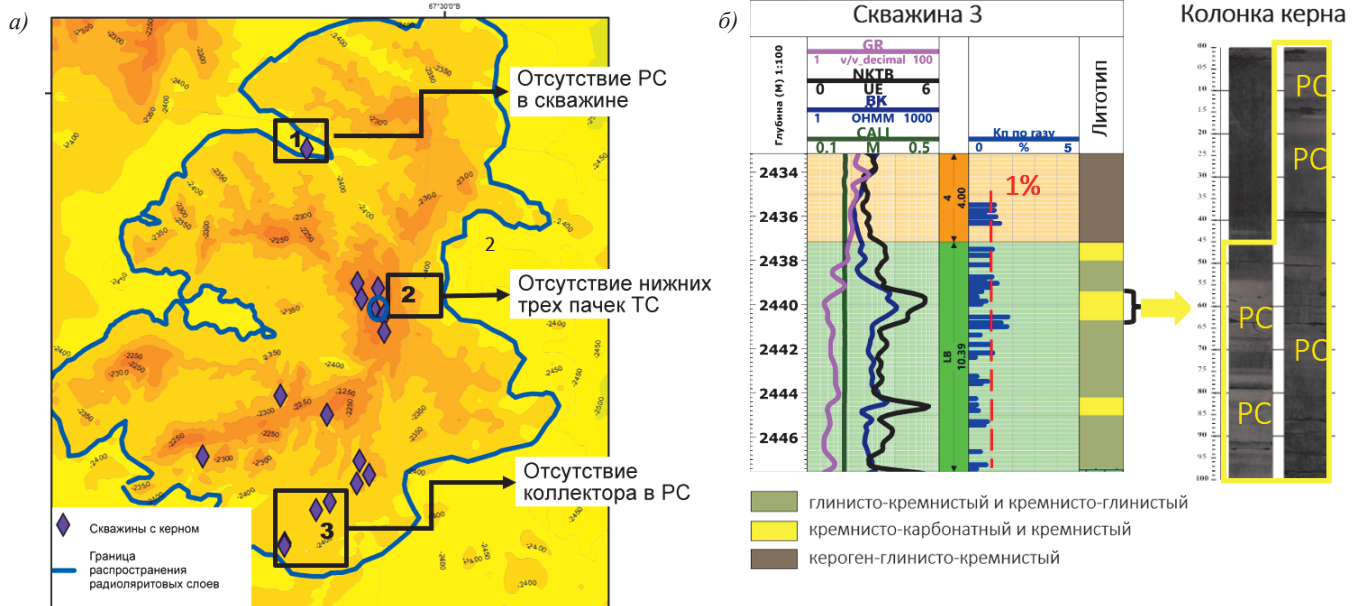


Рис. 7. а) Контур распространения PC с вынесенными опорными скважинами, б) Скважина 3 с наличием PC

Скважина-1 располагается в зоне не затронутой течением, оно шло с другой стороны от острова и через него остатки радиолярий в массовом количестве не доносились. Также PC отсутствуют в неполных разрезах наиболее возвышенной части территории, где нижние три пачки не накопились (скв. 2, рис. 4, 7).

В разрезах ТС остатки радиолярий являются породообразующим компонентом, при этом они не всегда образуют PC, а часто рассеяны в основной массе породы.

Приуроченность коллекторов к PC описывали многие авторы: Дорофеева Т.В. (1983), Немова В.Д. (2012), Алексеев А.Д. (2014). Однако не акцентировалось внимание, что PC не везде являются коллекторами, и их пористость может составлять доли процента. Геолого-геофизический планшет скважины с низкопористыми радиоляритами и положение скважины на карте показано на рисунке 7. PC четко выделяются на колонках керна, а интервалы с наличием PC на каротажных диаграммах – в виде повышенных значений нейтронного каротажа (НКТВ) и сопротивления (БК), при этом значения Кп в них не достигают и 2%.

На описываемом в работе объекте интервалы с повышенными значениями пористости в PC были выделены только в скважинах, приуроченных к сводовой и склоновой части территории, при переходе в более погруженные части – радиоляритовые породы перестают быть пористыми.

Многокомпонентная кероген-кремнисто-фосфатная порода (содержание апатита меняется от 50 до 73%, кремнезема – от 3% до 20%, и керогена – от 8 до 15%), являющаяся коллектором верхней части разреза, описана в пяти опорных скважинах в сводовой части территории. В остальных 11 скважинах фосфоритовый слой отсутствует. Его распределение по площади, вероятно, связано с развитием такого явления, как апвеллинг, который контролируется наличием глубинного течения, направленного к береговой линии. Положение зоны фосфатонакопления отвечает мелководной области, располагающейся по соседству с глубоководной (Еганов, 1974).

Во всех пяти скважинах фосфоритовый слой характеризуется повышенными ФЕС: пористость достигает 15%.

Мощность фосфоритового слоя варьируется от 0,1 до 0,3 м. Породы имеют повышенные геохимические характеристики по сравнению с близлежащими в разрезе породами: значения PI превышают фоновые значения (0,2) в 2 раза. Состав пород несколько варьируется, при этом в породе всегда сохраняется повышенное содержание ОБ (>8 масс.%). Характеристика коллекторских пород с линзами фосфоритов приводится в статьях Зубкова М.Ю (2019), в работах Грабовской Ф.Р (2018), Калмыкова А.Г (2016), где у авторов также подчеркиваются высокие ФЕС пород.

Анализ описаний шлифов, изучение порового пространства на естественных сколах под РЭМ с использованием микронзонда показали, что поровое пространство и в радиоляритах, и в фосфоритах связано с растворением минеральной матрицы пород (рис. 6). При этом появляются минералы, которые являются индикаторами гидротермальной деятельности (доломит нескольких генераций, анкерит, сидерит, родохрозит, магнетит, смитсонит ($ZnCO_3$), кутнагорит ($Ca, Mn, Mg(CO_3)_2$)). Наиболее интенсивно процессы гидротермального выщелачивания должны протекать вблизи разломов и зон вертикального разуплотнения, которые могут служить каналами для фильтрации гидротермальных растворов. Для формирования структур растворения первично кремневой минеральной матрицы необходимо воздействие раствора щелочного состава, для выщелачивания вещества в первично фосфатных породах требуется кислый флюид.

Площадное распространение коллекторов в радиоляритах и фосфоритах, с одной стороны, определяется наличием или отсутствием указанных пластов в каждом типе разреза и их латеральной протяженностью, а с другой – процессами формирования порового пространства в этих породах.

Проанализировав весь объем данных ГИС по изучаемой территории, авторы предлагают следующий подход к оконтуриванию распространения коллекторов по площади: по результатам керновых исследований выделяются коллекторы, определяется их геофизический облик и положение в разрезе. Далее на основании условий формирования пород и генезиса образования пустотного

пространства проводится оконтуривание возможной зоны распространения коллектора в конкретном пласте с ожидаемым минерально-компонентным составом.

По данным комплекса ГИС проводится расчленение разрезов скважин на пакки и на литофизические типы (ЛФТ) с характерным для них геофизическим обликом. На рисунках 7 и 8 ЛФТ, соответствующие РС, выделены желтым цветом, выделяются по повышенным значениям нейтронного каротажа (НКТВ) и сопротивления (ВК). По геофизическим данным кремнисто-фосфатный литотип приурочен к максимальному пику гамма-каротажа в пятой пакке.

В контуре возможного образования порового пространства в радиоляритовых и кремнисто-фосфоритовых слоях интервалы коллекторов выделяются как ППИ.

Радиоляритовый ППИ на Каменной вершине будет выделяться в сводовых и склоновых типах разреза. Средняя пористость в породах-коллекторах 7%, средняя мощность пород 1 м (рис. 8).

Исходя из обоснованной модели формирования, кремнисто-фосфатные ППИ картировались только в районе сводов поднятий. Наличие коллектора в скважине без керна, подтверждается полученными в ней притоком нефти дебитом 3,5 т/сут из 5 пакки (рис. 9, скв. №5)

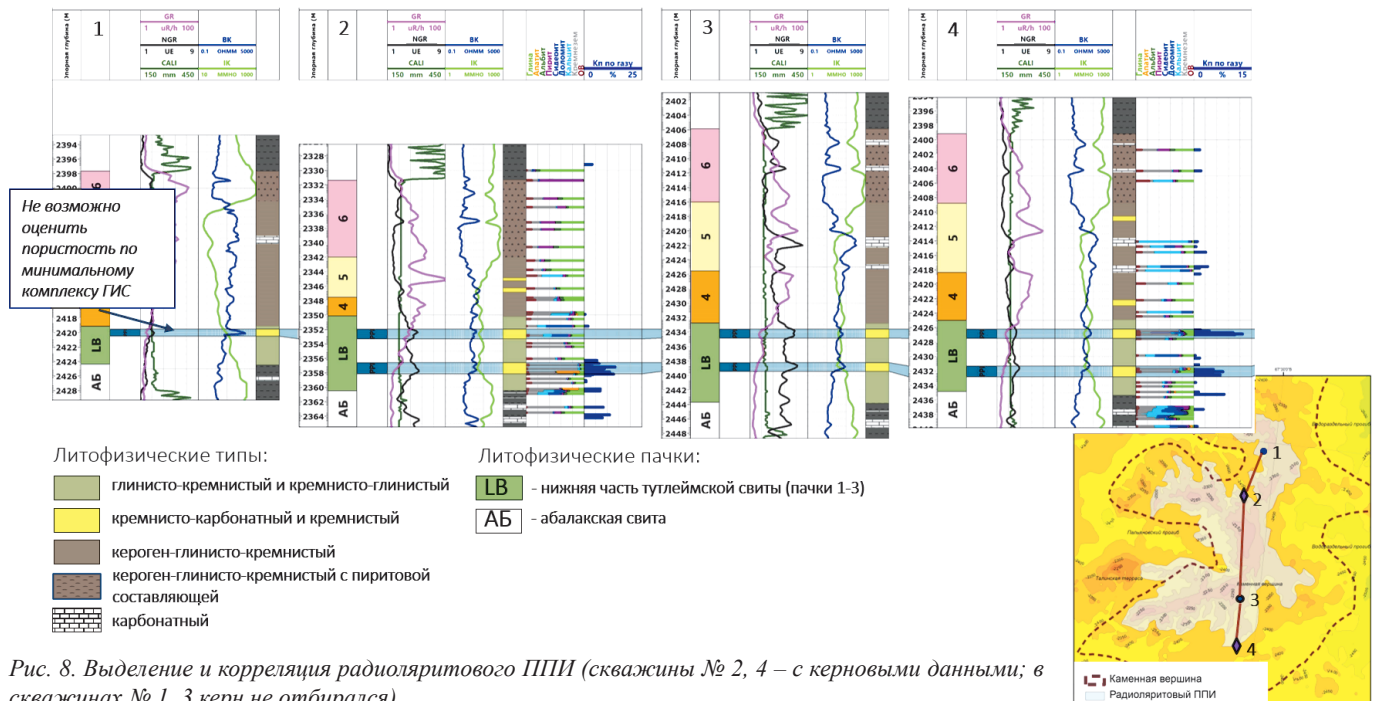


Рис. 8. Выделение и корреляция радиоляритового ППИ (скважины № 2, 4 – с керовыми данными; в скважинах № 1, 3 керна не отбирался)

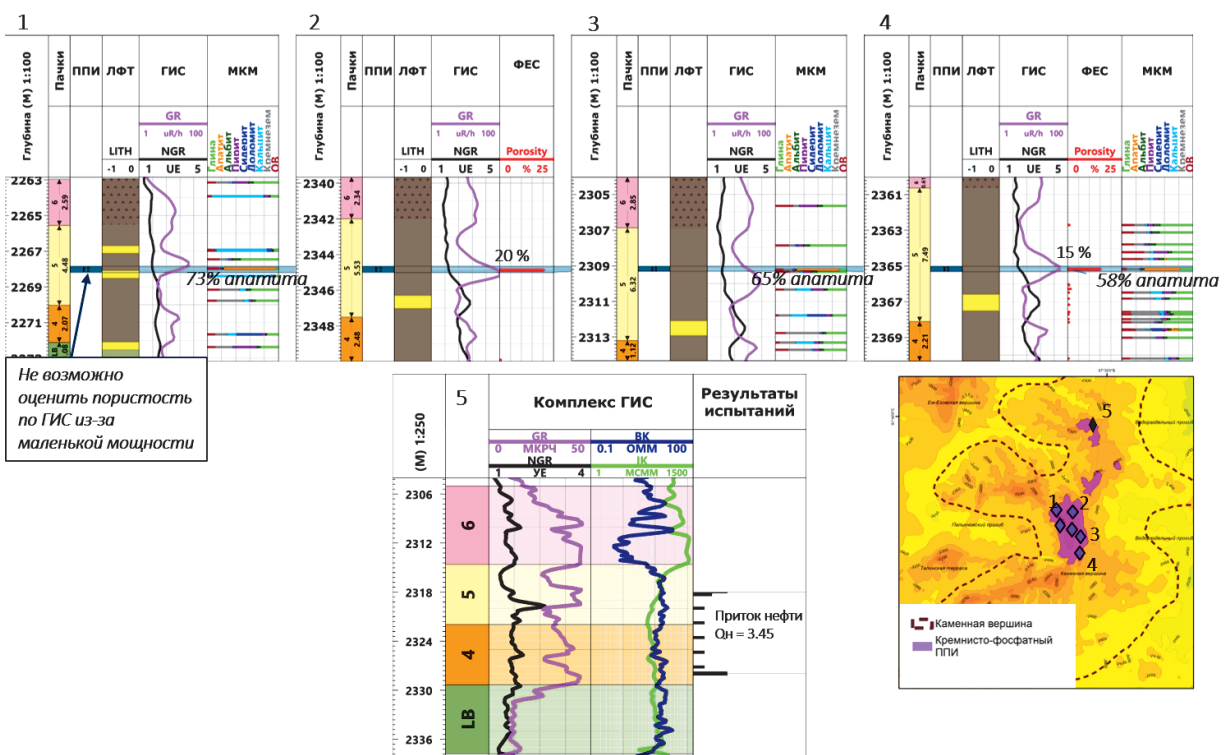


Рис. 9. Выделение и корреляция кремнисто-фосфатного ППИ

Выводы

В результате выполненных исследований установлено, что на территории Каменной вершины палеорельеф, существовавший на момент формирования отложений тутлеймской свиты, оказывает значительное влияние на строение разрезов, определяет стратиграфическую полноту, мощность свиты, а также мощность основных литологических пачек.

В разрезе ТС выделено два типа коллектора, приуроченных к разным литологическим разностям и частям разреза.

Характерной чертой сводовых разрезов является наличие пласта, представленного фосфоритами, в пятой пачке ТС, который повсеместно характеризуется улучшенными ФЕС и формирует кремнисто-фосфатный ППИ. В разрезах он приурочен к максимуму пика на кривой гамма-каротаж. Площадное распространение фосфоритов контролируется палеогеоморфологическим фактором: на склонах структуры и в погруженных участках слои фосфоритов отсутствуют. Средняя пористость кремнисто-фосфатного ППИ – 15%, средняя мощность – 0,3 метра.

Слои радиоларитов выявлены во всех типах разрезов на одном или двух стратиграфических уровнях: в разрезах сводового типа только в третьей пачке, в склоновых и погруженных разрезах – в первой и третьей пачках. Площадное распространение радиоларитов контролируется предполагаемой зоной действия палеотечений и не распространяется на запад участка, за гребень подводного поднятия, сформированного выступом фундамента. Средняя пористость радиоларитового ППИ – 7%, средняя мощность – 1 м.

На рассматриваемой территории наиболее перспективными типами разреза ТС являются сводовый и переходный, в которых присутствуют и радиоларитовые и кремнисто-фосфатные потенциально-продуктивные интервалы.

Определение условий формирования пласта и выявление вторичных процессов его преобразований, которые привели к формированию ФЕС в нем, позволяет спрогнозировать зоны развития коллекторских пластов разных генетических типов в конкретной геологической обстановке.

Благодарности

Выражаем благодарность всему преподавательскому составу кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых МГУ им. Ломоносова.

Литература

- Алексеев А.Д. (2014). Баженовская свита: в поисках большой сланцевой нефти на Верхнем Салыме. *Rogtec Magazine*, 34, с. 15–39.
- Бочкарев В.С., Брэдучан Ю.В., Гурари Ф.Г., Дзюба О.С., Ильина В.И., Кулахметов Н.Х., Шурыгин Б.Н. (2004). Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири (Новосибирск, 2003 г.). Региональные стратиграфические схемы триасовых и юрских отложений Западной Сибири. Новосибирск.
- Временное методическое руководство по подсчету запасов нефти в трещинных и трещинно-поровых коллекторах в отложениях баженовской толщи Западно-Сибирской нефтегазовой провинции (2017). *Недропользование XXI век*, 4, с. 68–101.
- Грабовская Ф.Р., Жуков В.В., Заграновская Д.Е. (2018). Строение и условия формирования баженовского горизонта Пальяновской площади

- Западной Сибири. *Литология и полезные ископаемые*, 3, с. 195–206.
- Дорофеева Т.В., Краснов С.Г., Лебедев Б. А., Петрова Г. В., Позиненко Б. В. (1983). Коллекторы нефти баженовской свиты Западной Сибири. Ленинград: Недра, 131.
- Еганов Э.А. (1974). Проблемы образования и размещения пластовых фосфоритов. Ред. Занин Ю.Н. *Труды института геологии и геофизики*, Вып. 102.
- Зорина С.В. (2015). Баженовские вызовы: «Газпром Нефть» реализует технологическую стратегию разработки нетрадиционных запасов. *Сибирская нефть*, 4, с. 36.
- Зубков М.Ю. (2019). Типы коллекторов в бажено-абалакском комплексе Западной Сибири и их генезис. *Геология нефти и газа*, 4, с. 59–78.
- Калмыков А.Г., Мануилова Е.А., Калмыков Г.А., Белохин В.С., Коробова Н.И., Макарова О.М., Иванова А.Г. (2016). Фосфатсодержащие прослои баженовской свиты как возможный коллектор. *Вестник Московского университета. Серия 4. Геология*, 5, с. 60–66. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2016-5-60-66>
- Калмыков Г.А., Балушкина Н.С. (2017). Модель нефтенасыщенности порового пространства пород баженовской свиты Западной Сибири и ее использование для оценки ресурсного потенциала. Москва: ГЕОС, 247 с.
- Калмыков Г.А., Балушкина Н.С., Белохин В.С., Былибин С.И., Дьяконова Т.Ф., Исакова, Т.Г. (2015). Пустотное пространство пород баженовской свиты и насыщающие его флюиды. *Недропользование XXI век*, 1, с. 64–71.
- Калмыков Г.А., Киселева Н.Л., Балушкина Н.С., Цветков Л.Д. (2017). Нефтегазоносные высокоуглеродистые толщи на границе юры и мела. Ярославль: АверсПлюс.
- Корж М.В. (1978). Палеогеографические критерии нефтегазоносности юры Западной Сибири. Москва: Наука.
- Ларская Е.С., Горюнова Е.А. (1992). Корреляция пиролитических и битуминологических параметров эпигенетического ОВ Непско-Ботуобинской антеклизы. *Геол. нефти и газа*, 11.
- Немова В.Д. (2012). Условия формирования коллекторов в отложениях баженовского горизонта в районе сочленения Красноленинского свода и Фроловской мегавпадины. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 7(2). http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2012.pdf
- Панченко И.В., Немова В.Д., Смирнова М.Е., Ильина М.В., Барабошкин Е.Ю., Ильин В.С. (2016). Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения и ГИС. *Геология нефти и газа*, 6, с. 22–34.
- Сурков В.С., Жеро О.Г. (1981). Фундамент и развитие чехла Западно-Сибирской плиты. Москва: Недра, 143 с.
- Хотылев О.В., Балушкина Н.А., Вишневская В.С., Коробова Н.И., Калмыков Г.А., Рослякова А.С. (2019). Модель накопления радиоларитовых слоев в баженовской свите Западной Сибири. *Вестник Московского университета. Серия 4. Геология*, 1. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2019-1-92-97>
- Lopatin N.V., Zubairae S.L., Kos I.M., Emets T.P., Romanov E.A., Malchikhina O.V. (2003). Unconventional oil accumulations in the Upper Jurassic Bazhenov Black Shale Formation, West Siberian Basin: a self-sourced reservoir system. *Journal of Petroleum Geology*, 26(2), pp. 225–244.

Сведения об авторах

Мария Михайловна Фомина – старший геолог, Фонд «Национальное интеллектуальное развитие»
Россия, 119234, Москва, Ломоносовский пр., д. 27, к. 1
e-mail: fomina-msu@mail.ru

Наталья Сергеевна Балушкина – кандидат геол.-мин. наук, научный сотрудник кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

Олег Владимирович Хотылев – кандидат геол.-мин. наук, ведущий геолог, Фонд «Национальное Интеллектуальное развитие»
Россия, 119192, Москва, Ломоносовский пр., д. 27, к. 1

Антон Георгиевич Калмыков – кандидат хим. наук, старший научный сотрудник кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

Георгий Александрович Калмыков – доктор геол.-мин. наук, профессор кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

Инна Олеговна Реуцкая – аспирант кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

Стефания Александровна Романенко – геолог, Фонд «Национальное интеллектуальное развитие»

Россия, 119234, Москва, Ломоносовский пр., д. 27, к.1

Мария Сергеевна Топчий – старший геолог

Фонд «Национальное интеллектуальное развитие»

Россия, 119234, Москва, Ломоносовский пр., д. 27, к.1

Ирина Ярославовна Богатырева – эксперт в области геологического моделирования

Фонд «Национальное интеллектуальное развитие»

Россия, 119234, Москва, Ломоносовский пр., д. 27, к.1

Александр Александрович Алехин – аспирант кафедры сейсмологии и геоакустики

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

Статья поступила в редакцию 11.03.2021;

Принята к публикации 14.05.2021; Опубликована 25.05.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Potential-productive intervals determination of the Tutleim formation in the central part of the Krasnoleninsky arch

M.M. Fomina^{1*}, *N.S. Balushkina*², *O.V. Khotylev*¹, *A.G. Kalmykov*², *I.Ya. Bogatyreva*¹,
*G.A. Kalmykov*², *I.O. Reutskaya*², *S.A. Romanenko*¹, *M.S. Topchy*¹, *A.A. Alekhin*²

¹National Intellectual Development Foundation, Moscow, Russian Federation

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: Maria M. Fomina, e-mail: e-mail:fomina-msu@mail.ru

Abstract. The article presents the results of the Tutleim formation complex studies of core from 16 wells drilled on an area of 900 km² near the Kamennaya crest of the Krasnoleninsky arch. The area is characterized by the variability of the structural plan, preserved from the time of deposits sedimentation, that might affect the structure of formation. Regionally traceable lithological units were used to describe different types of sections, which were firmly recorded on the core and on the logs. The article presents the results of the sections correlation, that shows the variability of the Tutleim formation through the area, identifies typical sections for the submerged, slope and crestal parts of the investigated field. The section may contain two reservoir intervals of different types: radiolarite and siliceous-phosphate layers with average porosity values of 7% and 15%, respectively. The radiolarite layers form the main potential-productive intervals, that are found in all types of sections on one or two stratigraphic levels: in the crestal sections only in the third unit, in the slope and submerged sections – in the first, second and third units. The phosphorite layer in the fifth unit is a characteristic singularity only of the crestal sections. The obtained results allow predicting the distribution of the potential-productive intervals of the Tutleim formation and its stratigraphic analogues in different areas with higher accuracy.

Keywords: Tutleim Formation, potential-productive intervals, radiolarite reservoirs, phosphorite, paleorelief, streams, upwelling

Recommended citation: Fomina M.M., Balushkina N.S., Khotylev O.V., Kalmykov A.G., Bogatyreva I.Ya., Kalmykov G.A., Reutskaya I.O., Romanenko S.A., Topchy M.S., Alekhin A.A. (2021). Potential-productive intervals determination of

the Tutleim formation in the central part of the Krasnoleninsky arch. *Georesursy = Georesources*, 23(2), pp. 132–141. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.13>

References

- Alekseev A.D. (2014). The Bazhenov Formation: In Search of Large Shale Oil in the Upper Salym. *Rogtec Magazine*, 34, pp. 15–39. (In Russ.)
- Bochkarev V.S., Braduchan Yu.V., Gurari F.G., Dzyuba O.S., Ilyina V.I., Kulakhmetov N.Kh., Shurygin B.N. (2004). Decision of the 6th Interdepartmental Stratigraphic Meeting to Review and Adopt Refined Stratigraphic Schemes of the Mesozoic Deposits of Western Siberia (Novosibirsk, 2003). Regional stratigraphic schemes of Triassic and Jurassic deposits of Western Siberia. Novosibirsk. (In Russ.)
- Dorofeeva T.V., Krasnov S.G., Lebedev B.A., Petrova G.V., Pozinenko B.V. (1983). Oil reservoirs of the Bazhenov Formation in Western Siberia. Leningrad: Nedra, 131 p. (In Russ.)
- Eganov E.A. (1974). Problems of formation and placement of stratal phosphorites. Ed. Zanin Yu.N. *Trudy instituta geologii i geofiziki*, vol. 102. (In Russ.)
- Grabovskaya F.R., Zhukov V.V., Zagranovskaya D.E. (2018). Structure and Formation Conditions of the Bazhenovo Horizon in the Pal'yanovo Area, West Siberia. *Lithology and Mineral Resources*, 53, pp. 179–189. <https://doi.org/10.1134/S0024490218030021>
- Temporary Guidelines for the Calculation of Oil Reserves in Fractured and Fractured-Pore Reservoirs in the Bazhenov Formation of the West Siberian Oil and Gas Province (2017). *Nedropol'zovanie XXI vek*, 4, pp. 68–101. (In Russ.)
- Kalmykov A.G., Manuilova E.A., Kalmykov G.A., Belokhin V.S., Korobova N.I., Makarova O.M., Kozlova E.V., Khamidullin R.A., Shishkov V.A., Ivanova A.G. (2016). The phosphate-containing interlayers of the Bazhenov Formation as potential reservoirs. *Moscow Univ. Geol. Bull.*, 71, pp. 429–435. <https://doi.org/10.3103/S0145875216060089>
- Kalmykov G.A., Balushkina N.S. (2017). A model of oil saturation in the pore space of the rocks of the Bazhenov formation in Western Siberia and its use for assessing the resource potential. Moscow: GEOS, 247 p. (In Russ.)
- Kalmykov G.A., Balushkina N.S., Belokhin V.S., Bilibin S.I., Dyakonova T.F., Isakova, T.G. (2015). The void space of the rocks of the Bazhenov Formation and the fluids saturating it. *Nedropol'zovanie XXI vek*, 1, pp. 64–71. (In Russ.)

Kalmykov G.A., Kiseleva N.L., Balushkina N.S., Tsvetkov L.D. (2017). Oil and gas bearing high carbon strata on the Jurassic and Cretaceous boundary. Yaroslavl: AversPlus. (In Russ.)

Khotylev O.V., Balushkina N.A., Vishnevskaya V.S., Korobova N.I., Kalmykov G.A., Roslyakova A.S. (2019). A Model of the Accumulation of Radiolarite Layers in the Bazhenov Formation of West Siberia. *Moscow Univ. Geol. Bull.*, 74, pp. 206–211. <https://doi.org/10.3103/S0145875219020054>

Korzh M.V. (1978). Paleogeographic criteria for the oil and gas content of the Jurassic of Western Siberia. Moscow: Nauka. (In Russ.)

Larskaya E.S., Goryunova E.A. (1992). Pyrolysis and bitumen parameters correlation of epigenetic organic matter of the Nepsko-Botuobinsk anticline. *Geologiya Nefti i Gaza = Russian Oil And Gas Geology*. (In Russ.)

Lopatin N.V., Zubairav S.L., Kos I.M., Emets T.P., Romanov E.A., Malchikhina O.V. (2003). Unconventional oil accumulations in the Upper Jurassic Bazhenov Black Shale Formation, West Siberian Basin: a self-sourced reservoir system. *Journal of Petroleum Geology*, 26(2), pp. 225–244.

Nemova V.D. (2012) Reservoir formation conditions in the sediments of the Bazhenov horizon at the junction of the Krasnoleninsky arch and the Frolovskaya megadepression. *Neftegazovaya Geologiya. Teoria i praktika = Petroleum Geology - Theoretical and Applied Studies*, 7(2). (In Russ.). http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2012.pdf

Panchenko I.V., Nemova V.D., Smirnova M.E., Ilyina M.V., Baraboshkin E.Yu., Ilyin V.S. (2016). Stratification and detailed correlation of the Bazhenov horizon in the central part of Western Siberia according to lithological-paleontological study and GIS. *Geologiya Nefti i Gaza = Russian Oil And Gas Geology*, 6, pp. 22–34. (In Russ.)

Surkov V.S., Zheraud O.G. (1981). Foundation and development of the West Siberian Plate cover. Moscow: Nedra, 143 p. (In Russ.)

Zorina S.V. (2015). Bazhenov Challenges: Gazprom Neft is implementing a technological strategy for the development of unconventional reserves. *Sibirskaya neft = Siberian oil*, 4, p. 36. (In Russ.)

Zubkov M.Y. (2019). Reservoir types in the Bazhenov-Abalak complex of Western Siberia and their genesis. *Geologiya Nefti i Gaza = Russian Oil And Gas Geology*, 4, pp. 59–78. (In Russ.)

About the Authors

Maria M. Fomina – Senior Geologist, National Intellectual Development Foundation

27, build. 1, Lomonosovsky ave., Moscow, 119192, Russian Federation

Natalia S. Balushkina – PhD (Geology and Mineralogy), Researcher, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University.

1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Oleg V. Khotylev – PhD (Geology and Mineralogy), Leading geologist, National Intellectual Development Foundation

27, build. 1, Lomonosovsky ave., Moscow, 119192, Russian Federation

Anton G. Kalmykov – PhD (Chemistry), Senior Researcher of the Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University

1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Georgy A. Kalmykov – DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University

1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Inna O. Reutskaya – PhD student, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University

1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Stefaniya A. Romanenko – Geologist, National Intellectual Development Foundation

27, build. 1, Lomonosovsky ave., Moscow, 119192, Russian Federation

Mariya S. Topchy – Senior Geologist, National Intellectual Development Foundation

27, build. 1, Lomonosovsky ave., Moscow, 119192, Russian Federation

Alexander A. Alekhin – PhD student, Department of seismometry and geoaoustics, Lomonosov Moscow State University

1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

*Manuscript received 11 March 2021;
Accepted 14 May 2021; Published 25 May 2021*