

УДК 550.81; 553.9

Т.Г. Исакова¹, Т.Ф. Дьяконова², А.Д. Носикова³, Д.С. Савченко⁴,
Н.И. Коробова⁵, Р.С. Сауткин⁶, А.Г. Калмыков⁷, Г.А. Калмыков⁸

НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МОДЕЛИ КОЛЛЕКТОРА ВИКУЛОВСКОЙ СВИТЫ КРАСНОЛЕНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Фонд «Национальное интеллектуальное развитие», 119192, Москва, Ломоносовский пр-т, 27, корп. 1
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1

National intellectual development Foundation, 119192, Moscow, Lomonosovsky Prospekt, 27, bd 1
Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Выполнены детальные литологические, седиментологические, петрофизические исследования колонок и образцов керна отложений викуловской свиты. На основе исследований установлены новая модель коллектора и способы оценки подсчетных параметров по данным ГИС.

Ключевые слова: викуловская свита, модель коллектора, анизотропия проницаемости, степень слоистости пород, текстурная неоднородность.

Detailed lithological, sedimentological, petrophysical studies of columns and core samples of Vikulovskaya series were performed. On the basis of researches the new model of a reservoir was made and new methods of volumetric parameters estimation based on well logs were established.

Key words: Vikulovskaya series, reservoir model, permeability anisotropy, extent of inter-bedding, textural heterogeneity.

Введение. Отложения викуловской свиты (ВК) раннемелового возраста на Красноленинском месторождении изучают с середины 1970-х гг., но до настоящего времени у специалистов-петрофизиков нет единого согласованного мнения о модели коллектора. Викуловская свита имеет большое значение из-за ее регионального развития на уникальном нефтяном Красноленинском месторождении Западной Сибири, крупнейшие запасы в ней сосредоточены в массивных залежах с подстилающей подошвенной водой. Отложения викуловской свиты формировались в прибрежно-морских условиях, осложненных развитием врезанных долин в разных частях месторождения. Представление о модели коллектора викуловской свиты при ее изучении неоднократно менялось в соответствии с изученностью керна: 1990 г. — поровый изотропный песчано-алевролитовый коллектор; 2004 г. — анизотропный коллектор с микропереслаиванием песчано-алевролитовых проницаемых пород и непроницаемых прослоев

глин (аргиллитов); 2017 г. — анизотропный коллектор с микропереслаиванием песчано-алевролитовых проницаемых пород с непроницаемыми глинистыми прослоями, т.е. была подтверждена модель коллектора 2004 г. с несущественными уточнениями. Именно эта модель актуальна. В настоящее время по результатам обобщения старых и вновь проведенных детальных исследований керна получена новая уточненная модель коллектора викуловской свиты.

Объект исследований. Существующая анизотропная модель коллектора викуловской свиты базируется на макро- и микроописаниях породы и фотографиях колонок керна при дневном и ультрафиолетовом освещении, они свидетельствуют о наличии пачек тонкого переслаивания пород с чередованием светлых и более темных разностей. При этом светлые разности ассоциируются с песчано-алевролитовыми породами-коллекторами с межзерновым типом порового пространства, а более темные — с глинами или аргиллитами — не-

¹ Фонд «Национальное интеллектуальное развитие», эксперт; e-mail: t.isakova@oilmsu.ru

² Фонд «Национальное интеллектуальное развитие», эксперт; e-mail: dyakonovatf@yandex.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики, магистрант; e-mail: a.nosikova@oilmsu.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, студент; e-mail: d.savchenko@oilmsu.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, ассистент; e-mail: n.korobova@oilmsu.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, ст. науч. с.; e-mail: r.sautkin@oilmsu.ru

⁷ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, ст. науч. с.; e-mail: a.g.kalmykov@gmail.com

⁸ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых; профессор; e-mail: gera64@mail.ru

коллекторами. Высокая степень микрослоистости, наблюдаемая в керне, практически не отражается на диаграммах, полученных методами ГИС. Единичная толщина таких слоев изменяется от 10 см до долей миллиметра. Для описания слоистой глинистости в петрофизике нефтяных коллекторов принят параметр $\chi_{\text{гл}}$, который характеризует долю глинистых непроницаемых слоев в общей толщине пачки ($H_{\text{пачки}}$) нефтенасыщенного коллектора: $\chi_{\text{гл}} = \Sigma H_{\text{гл}} / (H_{\text{пачки}})$, где $H_{\text{гл}}$ — толщина глинистого слоя. Анизотропная пачка пород представляет собой сумму толщин глинистых ($H_{\text{гл}}$) и песчаных слоев ($H_{\text{песч}}$): $H_{\text{пачки}} = \Sigma (H_{\text{гл}} + H_{\text{песч}})$. Коллектором считаются только чистые песчаные прослои. При отсутствии глинистых слоев $\chi_{\text{гл}} = 0$ и $H_{\text{прослой}} = H_{\text{эфф}}$; в микрослоистых коллекторах $\chi_{\text{гл}} > 0$ всю пачку относят к коллектору [Акиншин, Ефимов, 2014; Вендельштейн, Резванов, 1978; Латышова и др., 1962; Методические..., 1990].

Существующая в настоящее время модель анизотропного коллектора викуловской свиты включает следующие параметры, необходимые для подсчета геологических запасов:

— в качестве эффективной нефтенасыщенной толщины $H_{\text{эф.н}}$ принята суммарная толщина слоев песчаников в выделенной по ГИС пачке нефтенасыщенного коллектора:

$$H_{\text{эф.н}} = H_{\text{пачки}} (1 - \chi_{\text{гл}});$$

— в качестве коэффициента пористости принята пористость слоев чистых песчаников:

$$K_{\text{п}} = K_{\text{п.чист}} = (K_{\text{п.пачки}} - K_{\text{п.гл}} \cdot \chi_{\text{гл}}) / (1 - \chi_{\text{гл}}),$$

где $K_{\text{п.пачки}}$ — пористость пачки, определяемая геофизическими методами, $K_{\text{п.гл}}$ — пористость глин, принимается константой;

— в качестве удельного электрического сопротивления пласта принимается УЭС слоев чистых песчаников:

$$\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{п.чист}} = (1 - \chi_{\text{гл}}) / ((1/\rho_{\text{п.пачки}}) - (\chi_{\text{гл}}/\rho_{\text{п.гл}})),$$

где $\rho_{\text{п.пачки}}$ — удельное электрическое сопротивление пачек пород по ГИС; $\rho_{\text{п.гл}}$ — удельное электрическое сопротивление глин;

— коэффициент нефтенасыщенности рассчитывается для слоев песчаников ($K_{\text{н.чист}}$) по петрофизическим зависимостям $P_{\text{п}} - K_{\text{п}}$ и $P_{\text{н}} - K_{\text{н}}$ через $\rho_{\text{п.чист}}$ и $K_{\text{п.чист}}$.

Результаты испытаний и продолжительной разработки викуловских отложений с получением даже на начальной стадии притоков нефти с водой заставили усомниться в правильности принятой петрофизической модели.

При испытаниях классического анизотропного коллектора получают, как правило, безводные притоки нефти, так как углеводородное вещество (УВ) содержится в слоях коллектора-песчаника, неколлектор в виде слоев глин содержит связанную (неподвижную) воду. Яркие примеры

классических анизотропных коллекторов — отложения нутовской и дагинской палеогеновых свит на месторождениях Сахалинского региона — Аркутун-Даги, Одопту, Пильтун-Астохское и др. При испытаниях пластов викуловской свиты в большинстве случаев получают притоки нефти с водой, несмотря на гипсометрические уровни испытываемых коллекторов. Именно обводненные притоки нефти на высоких уровнях над водонефтяным контактом вызвали сомнение в достоверности модели коллектора викуловской свиты, что заставило авторов вернуться к более детальному изучению указанных отложений, начиная с истоков образования осадков, т.е. к генезису отложений. С этой целью проведен широкий комплекс седиментологических, литологических, петрофизических, пиролитических исследований на представительном керновом материале.

По результатам прошлых и новых исследований керна и интерпретации ГИС сделано обоснование новой модели коллектора викуловской свиты.

Викюловская свита подразделяется на пласты ВК1, ВК2-3, ВК4-5, в отдельных частях месторождения свита осложнена отложениями врезанной долины, которые индексируются как ВК2-Зврез. Продуктивны пласты ВК1, ВК2-3 и ВК2-Зврез. Отложения викуловской свиты перекрыты ханты-мансийскими глинами, служащими региональным флюидоупором. Пласты ВК1 и ВК2-3 разделены алевролит-глинисто-карбонатной перемычкой разной толщины (~4–20 м). В районах с развитием отложений врезанной долины перемычка между пластами ВК1 и ВК2-Зврез практически отсутствует или имеет сокращенную толщину (1–4 м).

Условия осадконакопления определяют литологический состав, сочетание литотипов, коллекторские свойства пород, свойства флюидоупоров, т.е. формируют модель коллектора, а также модели залежи. Неучет или неверная трактовка фациальной обстановки может приводить к ошибочности модели коллектора, модели залежи, что сказывается в итоге на корректности прогноза добычных возможностей пластов и часто приводит к несоответствию прогноза фактическому состоянию разработки.

Результаты исследований и их обсуждение. По результатам детального седиментологического анализа керна определены фациальные условия образования пород викуловской свиты и глинистого флюидоупора (хантымансийская глина), перекрывающего ее отложения.

Генезис пластов ВК1 и ВК2-3 идентичен и обусловлен мелководно-морскими штормовыми условиями осадконакопления, а отложения ВК2-Зврез сформировались путем заполнения врезанной долины аллювиально-морскими отложениями [Карнюшина и др., 2003].

Минеральный состав скелета пород всех трех объектов близок и относится к полимиктовому

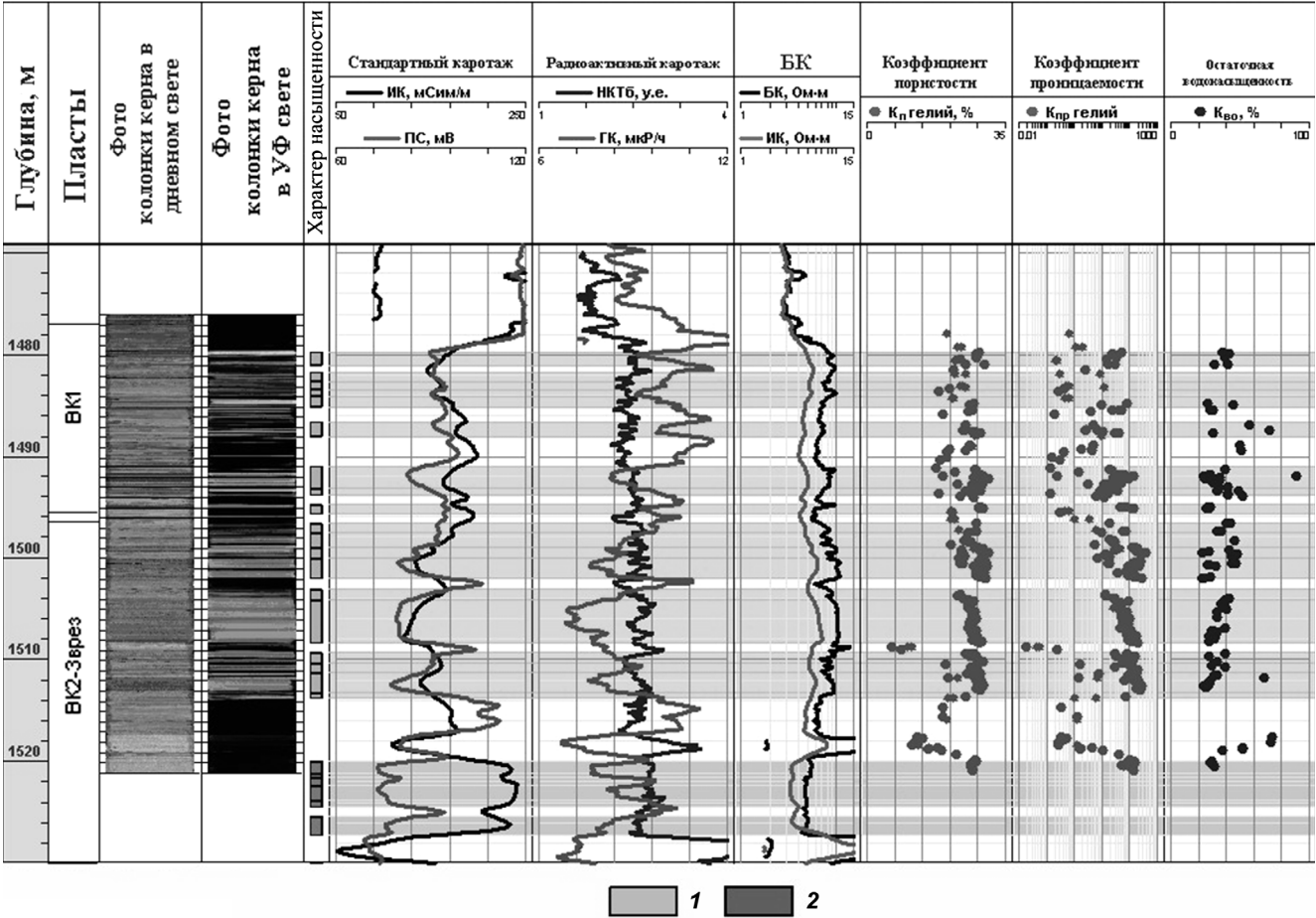


Рис. 1. Геолого-геофизический разрез пластов викуловской свиты по скв.2 с фото колонок керна при дневном и УФ освещении

типу (%): среднее содержание кварца 39–50,5; полевого шпата 32–45, обломков пород 14–19, слюды 1–1,9.

По содержанию и типу глинистых минералов пласты викуловской свиты также близки — глины каолинового состава (%): среднее содержание каолинита 41–57, хлорита 20–29, гидрослюды 17–22, смешанослюдистых минералов 4–6,6. В глинах пласта BK1 обнаружено незначительное содержание монтмориллонита (2,6%).

Гранулометрический анализ показал преимущественное содержание зерен алевритовой размерности (72–75%), подчиненное содержание песчаной (17–20%) и пелитовой фракций (8%) в пластах BK1 и BK2-3. В отложениях врезанной долины BK2-3врез отмечено некоторое преобладание зерен песчаной размерности (53,9%) по сравнению с алевритовой (39,4%), содержание глинистого компонента составляет 6,9%.

К важным и ранее специалистами не фиксируемым особенностям викуловского разреза относятся преимущественно алевритовый состав и отсутствие чистых разностей песчаников и глин. Максимальная глинистость ($C_{г\text{л.макс}}=35,6\%$) получена на единственном образце из скв. 2 и относится к хантымансийской глине. По данным гранулометрического анализа величина глинисто-

сти ($C_{г\text{л}}>25\%$) получена на 6 образцах из 383 определений и относится или к кровле пласта BK1, или к перемычке между пластами BK1 и BK2-3. Песчаная составляющая $C_{песч}$ по разрезу викуловской свиты меняется в диапазоне 0,6–89,2%. При этом величины $C_{песч}>60\%$ получены всего на 20 образцах из 7 скважин.

Особенность отложений викуловской свиты, которая обусловлена мелководно-морскими, штормовыми условиями осадконакопления, — ее микро- и макрослоистость, что характерно для штормового режима мелководного бассейна. Микрослоистость выражается в виде неравномерного частого чередования светлых и темных прослоев пород, зафиксированного по фотографиям колонок и по описанию керна. Указанная текстурная неоднородность пород установлена специалистами давно, это наиболее важная характеристика при определении модели коллектора [Акиньшин, Ефимов, 2014; Подсчет..., 2003].

На рис. 1 приведен пример скважины со 100%-ным выносом керна и фотографиями колонок керна в дневном и ультрофиолетовом (УФ) свете, на которых видно тонкое переслаивание разноокрашенных пород, светящихся в УФ освещении в продуктивной части разреза с разной интенсивностью.

Детальное описание керна (масштаб 1:20) и его изучение по опорным скважинам показали, что чередование темных и светлых прослоев, имеющих разную интенсивность свечения в УФ свете (при вскрытии скважиной продуктивной части разреза), связано с переслаиванием пород разной зернистости: алевролитов или алевропесчаников крупно-среднезернистых (светлых) с мелкозернистыми или алевролитами глинистыми (темными). В скважинах, где вскрыты отложения врезанной долины, отмечено переслаивание мелкозернистых песчаников (светлых прослоев) с мелкозернистыми алевролитами (темными прослоями). Слойки чистых глин при детальном изучении керна не выявлены. В пользу этого утверждения свидетельствует и низкое содержание глинистых разностей во всем разрезе викуловской свиты, что подтверждается гранулометрическими, рентгеноструктурными, литологическими исследованиями шлифов и является наиболее характерной чертой осадков штормового генезиса с активным гидродинамическим режимом, при котором осадки пелитовой размерности практически отсутствуют, будучи унесенными в глубокую часть бассейна.

Первый и основной вывод из детальных седиментологических исследований керна — пачки пород представлены алевропесчаниками, алевролитами глинистыми или песчанистыми, осложненными микропереслаиванием, без участия чистых глин и аргиллитов.

Ниже показаны результаты петрофизических и пиролитических исследований, доказывающие, что при определенных условиях выделенная пачка микропереслаивающих пород представляет собой коллектор и не требует сокращения эффективной толщины за счет удаления «глинистых» слойков-неколлекторов.

Высокая степень охарактеризованности разреза викуловской свиты петрофизическими данными по керну позволила дифференцировать образцы по их принадлежности к основным литотипам и получить граничные значения пористости ($K_{п.гр}$), проницаемости ($K_{пр.гр}$) и остаточной водонасыщенности ($K_{во.гр}$) для выделения коллекторов с учетом литологической принадлежности — в выборке участвовали все типы, представляющие темные и светлые прослои. Обоснование граничных значений выполнено по сопоставлению динамической пористости ($K_{п.дин}$) с значениями коэффициентов пористости ($K_{п}$), абсолютной проницаемости ($K_{пр}$) и остаточной водонасыщенности ($K_{во}$):

$$K_{п.дин} = K_{п}(1 - K_{во} - K_{но}),$$

где $K_{но}$ — коэффициент остаточной нефтенасыщенности. Деление образцов на литотипы показало дифференциацию зависимостей $K_{п} = f(K_{п.дин})$, $K_{пр} = f(K_{п.дин})$ и граничных значений параметров для пород преимущественно алевролитового и песча-

ного состава, что соответствует пластам ВК1-3 и ВК2-3врез:

ВК1-3 (породы преимущественно алевролитового состава), $K_{п.гр} = 20,8\%$, $K_{пр.гр} = 1,3$ мД, $K_{во.гр} = 75,4\%$;

ВК2-3врез (породы преимущественно песчаного состава), $K_{п.гр} = 18\%$, $K_{пр.гр} = 2$ мД, $K_{во.гр} = 74,8\%$.

Таким образом, интервал разреза, выделенный по условию $K_{п} > K_{п.гр}$, будет коллектором, несмотря на его литотип и степень слоистости. Наличие тонкого переслаивания пород разной зернистости не служит основанием для отнесения мелкозернистых алевролитовых разностей в пачке пород к неколлектору и исключению таких слойков из эффективной толщины.

Для доказательства, что пачка выделенных микропереслаивающихся пород представляет собой коллектор при $K_{п} > K_{п.гр}$, была изучена абсолютная проницаемость в зависимости от степени слоистости образца по образцам (цилиндрам) керна стандартного размера (3 см), выпиленным параллельно и перпендикулярно напластованию. Проанализировано 432 образца из 5 скважин. Степень слоистости образца оценивали визуально с замером толщин и расчетом числа и доли темных прослоев. Выполнена градация образцов на девять классов: 1-й класс ($N=1$) — однородный образец без темных микропрослоев; 9-й класс ($N=9$) — слоистый образец с 90–95% темных микропрослоев; образцы со 2-го по 8-й класс характеризуются возрастающей микрослоистостью. Анализ показал, что породы сохраняют коллекторские свойства в двух направлениях при степенях слоистости $N=1\div4$ (0–45% микропрослоев, средние значения проницаемости составляют: $K_{пр.гр}^{парал} = 14$ мД, $K_{пр.гр}^{перп} = 11,5$ мД), при степенях слоистости $N=5\div6$ коллекторские свойства сохраняются при измерениях параллельно напластованию и существенно ухудшаются при измерениях перпендикулярно напластованию ($K_{пр.гр}^{парал} = 4,6$ мД, $K_{пр.гр}^{перп} = 0,3$ мД), т.е. при содержании в образце более 50% темных прослоев проницаемость становится <1 мД в вертикальном направлении, но в горизонтальном направлении порода остается коллектором. При степени слоистости $N=7\div9$ 55–95% микропрослоев, порода представляет собой неколлектор при измерениях в двух направлениях ($K_{пр.гр}^{парал} = 0,3$ мД, $K_{пр.гр}^{перп} = 0,01$ мД). Распределение проницаемости с дифференциацией по степени слоистости образцов в двух направлениях представлено на рис. 2.

Наиболее обоснованные значения анизотропии проницаемости получены при замерах на образцах-кубиках керна, отобранных из интервалов разреза с разной степенью микрослоистости. Проницаемость для 7 кубиков измерена в трех направлениях: вдоль напластования (границы II и III) и поперек напластования (грань I) (рис. 3). Образцы отобраны из пласта ВК1, перемишки между пластами ВК1 и ВК2-3врез и из пласта ВК2-3врез,

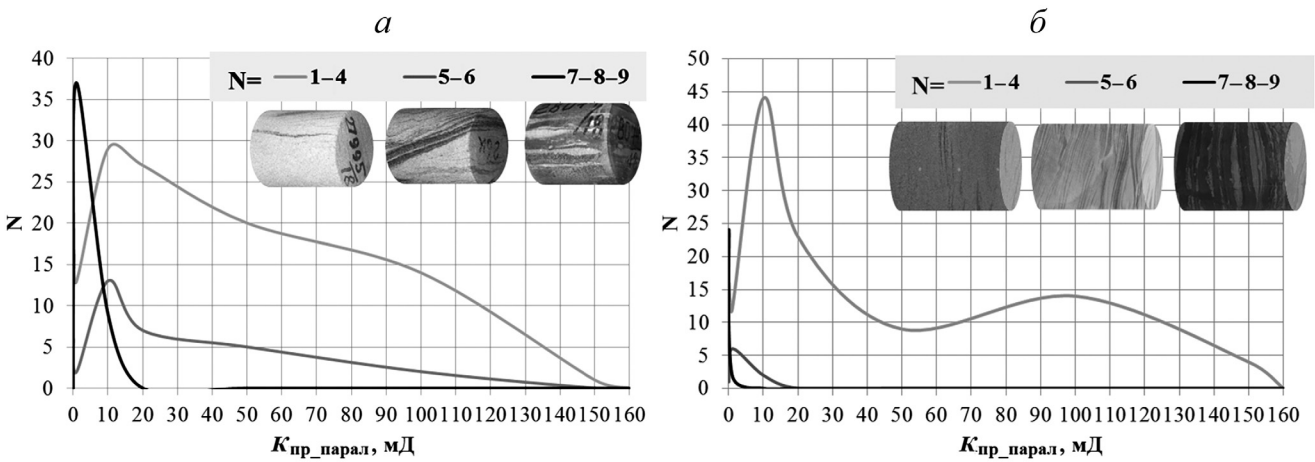


Рис. 2. Распределение проницаемости параллельно (а) и перпендикулярно (б) напластованию с градацией по степени слоистости образцов керна

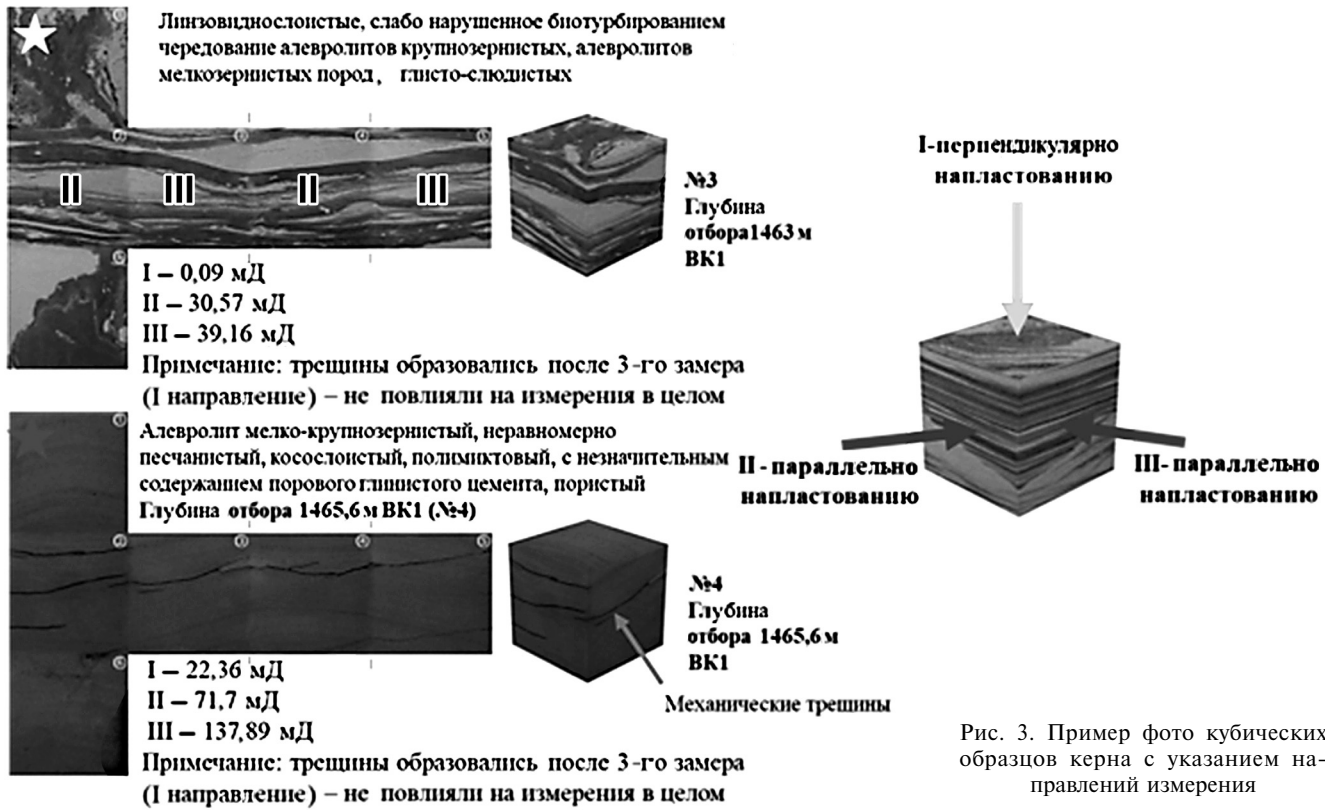


Рис. 3. Пример фото кубических образцов керна с указанием направлений измерения

Таблица 1

Результаты замеров проницаемости в трех направлениях на кубических образцах

Пласт	Номер образца	Описание породы	Глубина отбора, м	K _{пр} , мД			Коэффициент анизотропии
				номер грани			
				II	III	I	
BK1	3	переслаивание крупнозернистого алевролита с мелкозернистым	1463	30,6	39,16	0,1	19,8
BK1	4	песчано-алевролитовая порода	1465,6	71,4	137,9	22,4	2,5
Перемычка	6	алевроглинистая порода	1476	1,21	1,16	0,28	2,0
BK2-3врез	1	ритмич. алевроглинистый	1477,6	1,92	1,93	0,39	2,2
BK2-3врез	5	терригенно-карбонатная порода	1479,9	0,25	0,22	0,10	1,5
BK2-3врез	2	алевропесчаная порода	1481,4	12,01	11,35	2,44	2,2
BK2-3врез	7	песчано-алевролитовая порода	1505,5	2,77	3,46	0,84	2,0

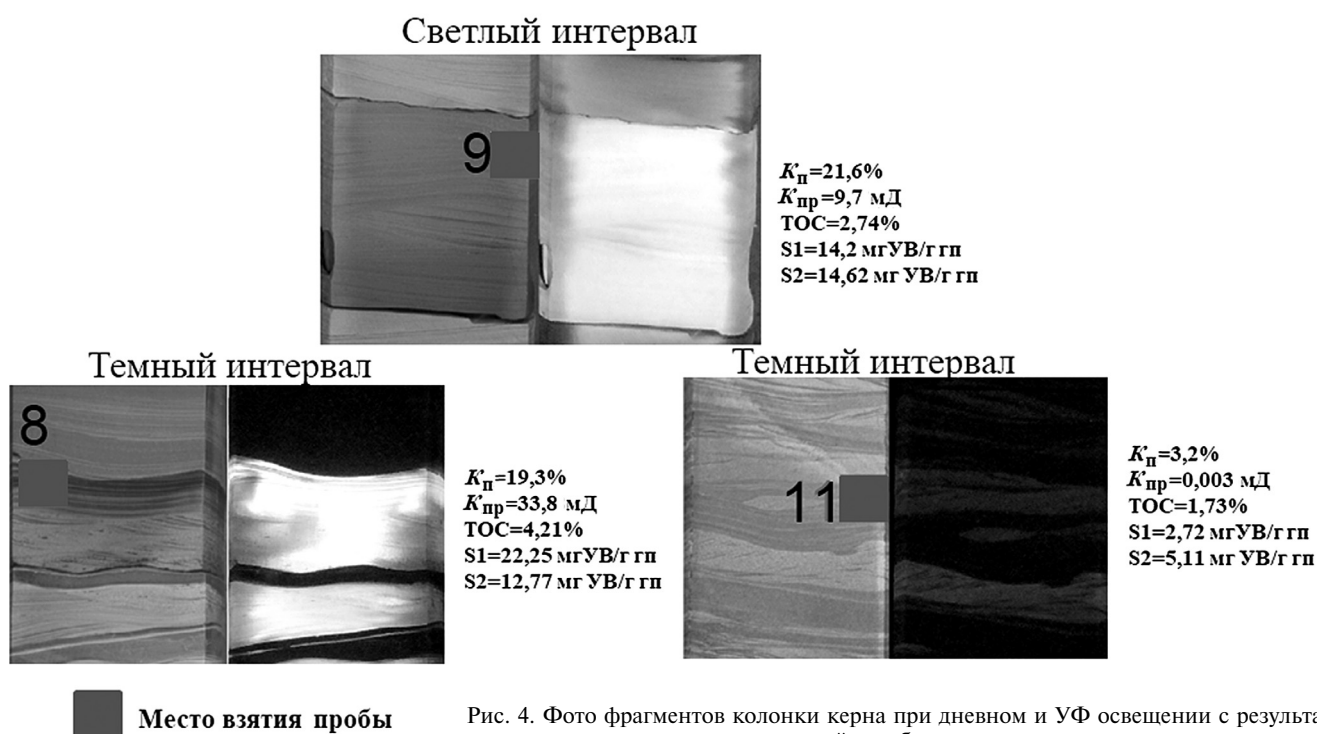


Рис. 4. Фото фрагментов колонки керна при дневном и УФ освещении с результатами пиролитических исследований на образцах из светлых и темных интервалов

т.е. представлены основные породы по условиям осадконакопления и литотипам.

Результаты замеров проницаемости на кубических образцах в трех направлениях (рис. 3, табл. 1) подтверждают ранее сделанные выводы при определениях на цилиндрических образцах в двух направлениях: даже при существенной степени слоистости порода представляет собой коллектор по проницаемости в направлении параллельно напластованию; вертикальная сообщаемость ниже, чем горизонтальная, что типично для всех терригенных пород со схожими условиями осадконакопления. Коэффициент анизотропии проницаемости для образцов с микрослоистостью меняется от 1,5 (образец № 5) до 19,8 (образец № 3). Самая значительная неоднородность с $K=19,8$ относится к образцу № 3 из кровельной части пласта ВК1 — переходной от ВК1 к хантымансийским глинам. Остальные образцы имеют близкие значения коэффициента анизотропии — $K=1,5 \div 2,5$, в среднем 2,1.

Исследования проницаемости подтверждают близость свойств при измерениях параллельно и перпендикулярно напластованию: при степени слоистости до 30–40% породы представляют собой коллекторы, при 55–60% относятся к неколлекторам, при содержании 45–55% мелкозернистых алевролитовых прослоев порода остается коллектором по пористости и проницаемости при замерах по напластованию и неколлектором при замерах по вертикали.

Еще одно доказательство, того что микрослоистая пачка состоит из прослоев коллекторов с разной степенью зернистости, дают результаты пи-

ролитических исследований «светлых» и «темных» слоев по наличию в них углеводородов. Изучено 17 образцов, из которых 4 кусочка отобраны из светлых слоев с наличием свечения в УФ свете, остальные — из темных без признаков свечения. В результате пиролиза установлено, что нефть в породе, идентифицированная параметром S1, содержится в светлых и в темных слоях, т.е. все отобранные пробы содержат подвижные УВ. Это еще раз подтверждает отнесение слоев обоих типов (светящихся и темных) к коллекторам, в которых присутствует миграционная нефть (рис. 4).

Итак, мы предлагаем новую модель коллектора продуктивных отложений викуловской свиты. Породы представлены алевропесчаными, песчано-алевритовыми, алевроглинистыми разностями, неравномерно чередующимися и переслаивающимися по разрезу пластов ВК. Глинистая составляющая не образует отдельных слоев и содержится только в цементирующей части песчано-алевролитовых пород. Свойства разреза зависят от степени зернистости и преобладания того или иного литотипа. *Уточненная модель — коллектор с микрослоистой текстурной неоднородностью, обусловленной чередованием слоев алевролитов и песчаников с разной степенью зернистости.*

Основное различие в моделях — существующей и предлагаемой, что меняет подходы к интерпретации геофизических исследований в скважинах (ГИС), заключается в литологическом составе коллектора. Ранее была принята модель с переслаиванием песчаников-коллекторов и аргиллитов (глин) — неколлекторов. Нами установлено, что в разрезе викуловской свиты отсутствуют чи-

стые разности пород — песчаники и глины; выявлено, что коллектор представляет собой тонкое переслаивание разномасштабных литологических разностей: крупно-среднезернистый алевролит — мелкозернистый алевролит (или глинистый алевролит), средне-мелкозернистый алевритистый песчаник — средне-мелкозернистый алевролит и другие сочетания пород, которые являются коллекторами при соблюдении условия $K_{п.г} > K_{п.гр}$. Наличие в пачке мелкозернистых разностей закономерно ухудшает интегральные фильтрационно-емкостные свойства коллекторов, но не переводит их в неколлекторы.

Степень слоистости разреза (доля мелкозернистых разностей, $\chi_{с\text{лоя}}$) обоснована нами для каменного материала с использованием детального литологического исследования по колонкам ядра. В существующей модели доля глин ($\chi_{г\text{л}}$) оценивается по фотографиям ядра в УФ освещении, так как признак слойка глин — отсутствие интенсивного свечения. По данным пиролиза выявлено, что по этому признаку нельзя однозначно установить отсутствие проницаемых разностей. Отсутствие (или низкая интенсивность) свечения связано с уменьшением объема нефти по отношению к малому объему пор мелко-тонкозернистых темных прослоев. Несоблюдение жестких сроков между отбором ядра и фотографированием, учет размеров пор, плотности и вязкости пластовой нефти

снижают достоверность выделения коллекторов по этому признаку. В предлагаемой модели коллекторы выделяются стандартным путем по прямым качественным признакам проникновения фильтра в пласт и граничному значению пористости.

С применением новой модели коллектора (2019 г.) по опорным скважинам выполнена интерпретация результатов ГИС: выделены коллекторы, определены значения коэффициента пористости и рассчитан поровый объем нефтенасыщенных коллекторов; проведено сравнение с результатами интерпретации по существующей модели 2017 г. (рис. 5, табл. 2).

Толщина пачек коллекторов ($H_{пачки}$) существенно не изменилась — расхождение средних значений составило 1,3%. Средняя эффективная толщина $H_{пачки,ср}$ в 2017 г. составила 24,3 м, в 2019 г. — $H_{пачки,ср}=24,6$ м. Расхождение несущественное и объясняется однотипным подходом к выделению пачек коллекторов в двух работах.

Эффективная нефтенасыщенная толщина в среднем в 2017 г. ($H_{эф.н}=H_{чист.нефть}$) составляла 13 м. Нефтенасыщенная толщина пачки в 2019 г. ($H_{эф.н}=H_{пачки,нефть}$) по сравнению с 2017 г. увеличилась на 0,7 м (+5,4%) и составила 13,7 м. Увеличение не очень значительное за счет того, что для выделения пачек коллекторов в 2019 г. использованы граничные значения параметров дифференцированно по литотипам: $K_{п.гр}=20,8\%$

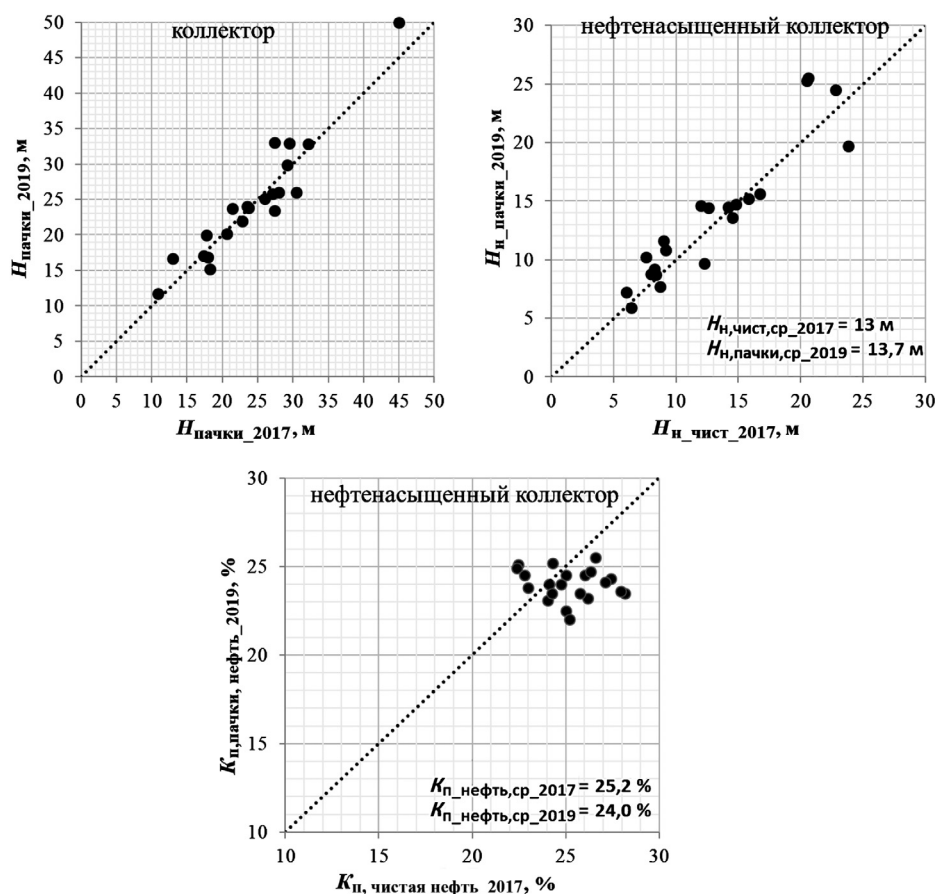


Рис. 5. Сопоставление параметров коллекторов в 2017–2019 гг. по опорной выборке скважин

Таблица 2

Сопоставление параметров по ГИС в 2017–2019 гг.

Номер скважины	2017 г.				2019 г.			
	$H_{\text{пачки}}, \text{ м}$	$H_{\text{чист.нефть}}, \text{ м}$	$K_{\text{п.чист.нефть}}, \%$	$V_{\text{п}} = H_{\text{чист.нефть}} \times K_{\text{п.чист.нефть}}$	$H_{\text{пачки}}, \text{ м}$	$H_{\text{пачки,нефть}}, \text{ м}$	$K_{\text{п.пачки,нефть}}, \%$	$V_{\text{п}} = H_{\text{пачки,нефть}} \times K_{\text{п.пачки,нефть}}$
1	10,9	6	23,0	138,0	11,7	7,2	23,8	171,4
2	29,5	22,8	25,0	570,0	32,9	24,5	22,5	551,3
3	22,8	8,3	26,0	216,0	21,9	9,2	24,5	225,4
4	18,2	15,8	22,5	354,9	15,2	15,2	25,1	381,5
5	17,7	9	27,4	246,9	19,9	11,6	24,3	281,9
6	23,5	8,7	22,4	194,8	24,0	7,7	24,9	191,7
7	13	6,4	25,0	160,0	16,7	5,9	24,5	144,6
8	23,7	14,5	26,2	379,5	23,8	13,6	23,2	315,5
9	17,9	8,4	26,3	221,2	16,9	8,7	24,7	214,9
10	20,6	14,8	28,2	416,9	20,1	14,7	23,5	345,5
11	21,4	12,6	27,1	341,6	23,7	14,4	24,1	347,0
12	30,5	14,2	24,7	351,3	26,0	14,5	24,0	348,0
13	17,3	8	25,8	206,0	17,1	8,8	23,5	206,8
14	27,4	12	24,1	289,4	33,0	14,6	24,0	350,4
15	45	20,5	26,6	544,9	50,0	25,3	25,5	645,2
16	32,2	16,7	25,2	420,9	32,8	15,6	22,0	343,2
17	26	7,6	24,0	182,6	25,1	10,2	23,1	235,6
18	27,1	9,2	22,8	209,6	25,8	10,8	24,5	264,6
19	29,2	20,6	24,3	500,2	29,9	25,5	25,2	642,6
20	28	23,8	24,3	577,7	26,0	19,7	23,5	463,0
21	27,35	12,3	27,9	343,5	23,4	9,7	23,6	228,9
Среднее	24,3	13,0	25,2	6866,0	24,6	13,7	24,0	6898,8
Расхождение:								
абсолютное	0,3				2,9	0,7	–1,2	32,9
относительное, %	1,3				13,2	5,4	–4,7	0,5

(породы преимущественно алевролитового состава), $K_{\text{п.гр}}=18\%$ (песчаные разности), а в 2017 г. установлено единое значение $K_{\text{п.гр}}$, равное 18% на весь разрез ВК. Граничное значение пористости для пород алевролитового состава возросло на 2,8%, что привело к сокращению пачек коллекторов (в основном кровельная часть пласта ВК1). За счет этого среднее значение нефтенасыщенной толщины в целом по опорным скважинам в 2019 г. возросло незначительно.

Коэффициент пористости по нефтенасыщенным коллекторам в 2017 г. ($K_{\text{п.чист.нефть}}$) в среднем в 2019 г. составил 25,2%; $K_{\text{п.пачки,нефть}}=24\%$, т.е. она абсолютно уменьшилась на 1,2%, а относительно — на 4,7%. Снижение среднего значения пористости произошло из-за принятия в 2019 г. в качестве подсчетного параметра $K_{\text{п.пачки}}$ — интегральной характеристики прослоя-коллектора, определяемого по ГИС, а в 2017 г. —

$$K_{\text{п.чист}} = (K_{\text{п.пачки}} - K_{\text{п.гл}} \cdot \chi_{\text{гл}}) / (1 - \chi_{\text{гл}}) -$$

пористость чистых слоев песчаников за исключением слоев глин.

Суммарный поровый объем нефтенасыщенных коллекторов $V_{\text{п}}$, рассчитанный как

$$(H_{\text{чист.нефть}} \cdot K_{\text{п.чист.нефть}}) \text{ в 2017 г.}$$

и

$$(H_{\text{пачки нефть}} \cdot K_{\text{п.пачки нефть}}) \text{ в 2019 г.,}$$

практически не изменился — увеличение составило 0,5%. Незначительное изменение порового объема связано с противоположным влиянием параметров — увеличение нефтенасыщенной толщины $H_{\text{пачки}}$ на 5,4% компенсировалось уменьшением пористости пачки на 4,7% отн.

Заключение. Скрупулезное изучение литологического состава, текстурных и структурных особенностей пород викуловской свиты позволило уточнить модель коллектора, представляющего собой микрочередование слоев-коллекторов с разными фильтрационно-емкостными свойствами.

ми. На основе новой модели оценка параметров коллекторов по ГИС будет более достоверна, что позволит подбирать наиболее адекватные и

эффективные способы воздействия на пласт для повышения нефтеотдачи и уточнения структуры остаточных запасов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акинъшин А.В., Ефимов В.А. Проблемы описания и построения петрофизических моделей текстурно-неоднородных песчано-алеврито-глинистых коллекторов // Петрофизика сложных коллекторов: проблемы и перспективы-2014. М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2014. С. 42–75.

Вендельштейн Б.Ю., Резванов Р.А. Геофизические методы определения параметров нефтегазовых коллекторов. М.: Недра, 1978. С. 200–209.

Карнюшина Е.Е., Коробова Н.И., Серпикова В.М. Аптский нефтеносный комплекс месторождения Каменное (Западная Сибирь) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2003. № 3. С. 8–15.

Латышова М.Г., Манчева Н.В., Морозович Я.Р. Анализ результатов исследования методики анизотропии при подсчете запасов газа свиты медистых песчаников

Шебелинского месторождения // Применение методов промысловой геофизики при изучении газоносных коллекторов / Под ред. В.Н. Дахнова. М.: Гос. науч.-техн. изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, 1962. С. 189–199.

Методические рекомендации по определению подсчетных параметров залежей нефти и газа по материалам геофизических исследований скважин с привлечением результатов анализов керна, опробований и испытаний продуктивных пластов / Под ред. Б.Ю. Вендельштейна, В.Ф. Козяра, Г.Г. Яценко. Калинин, 1990.

Подсчет запасов нефти и растворенного газа на основе геолого-технологической модели Красноленинского месторождения Ханты-Мансийского АО Тюменской области. М.: ОАО «ЦГЭ», 2003.

Поступила в редакцию 29.11.2019

Поступила с доработки 15.01.2020

Принята к публикации 15.01.2020