

УДК 550.3
МРНТИ 37.01.05

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108748>

Получена: 02.05.2024.

Одобрена: 12.12.2024.

Опубликована: 31.12.2024.

Научный обзор

Особенности выделения и природа низкоомных нефтенасыщенных коллекторов среднеюрских отложений месторождения Акшабулак Центральный Южно-Торгайского нефтегазоносного бассейна

А.К. Джумагалиева¹, Ш.О. Нысангалиева¹, Д.А. Ахметов², К.И. Сагиндыков²,
А.С. Марданов¹, Т.С. Джаксылыков¹, Ж.С. Мурзагалиева¹

¹Атырауский филиал КМГ Инжиниринг, г. Атырау, Казахстан

²КазГерМунай, г. Кызылорда, Казахстан

АННОТАЦИЯ

На нынешнем этапе развития нефтегазовой отрасли нашей страны особую актуальность приобретают доразведка действующих месторождений, недоизученных перспективных участков, выявление пропущенных горизонтов, методы оценки и разработки нестандартных коллекторов. К нестандартным можно отнести коллекторы с низким удельным электрическим сопротивлением, при оценке углеводородных перспектив которых возникают некоторые трудности. Низкоомными могут быть продуктивные коллекторы как с высокой остаточной водонасыщенностью, так и коллекторы, для которых общепринятые методики интерпретации оказываются неэффективными. Правильный анализ причин, которые приводят к занижению удельного электрического сопротивления продуктивных пластов, позволяет выбрать наиболее результативные методы интерпретации.

Статья посвящена исследованию особенностей коллекторов с низким электрическим сопротивлением, их природы и роли в процессе накопления флюидов. Рассматриваются основные методы идентификации низкоомных зон в породах-коллекторах, их физико-химические характеристики, обуславливающие низкое сопротивление, включая минералогический состав, насыщение, пористость, проницаемость и структуру порового пространства, и анализируется влияние на фильтрационно-емкостные характеристики. Описаны подходы к интеграции данных различных методов (геофизические и геолого-технологические исследования, лабораторные измерения). Особое внимание уделено влиянию низкого сопротивления на интерпретацию данных геофизических методов. Результаты исследования имеют значительный практический потенциал для оптимизации разработки месторождения.

Ключевые слова: низкоомный коллектор, удельное электрическое сопротивление, геофизические исследования скважин, нефтенасыщенность, песчаник, минералы.

Как цитировать:

Джумагалиева А.К., Нысангалиева Ш.О., Ахметов Д.А., Сагиндыков К.И., Марданов А.С., Джаксылыков Т.С., Мурзагалиева Ж.С. Особенности выделения и природа низкоомных нефтенасыщенных коллекторов среднеюрских отложений месторождения Акшабулак Центральный Южно-Торгайского нефтегазоносного бассейна // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2024. Том 6, №4. С. 25–38. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108748>.

UDC 550.3

CSCSTI 37.01.05

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108748>

Received: 02.05.2024.

Accepted: 12.12.2024.

Published: 31.12.2024.

Review article

Features of isolation and nature of low-resistivity oil-saturated reservoirs of the Middle Jurassic deposits of the Akshabulak Central field of the South Torgai oil and gas basin

Ainagul K. Dzhumagaliyeva¹, Shynar O. Nyssangaliyeva¹, Duman A. Akhmetov², Kairat I. Sagindykov², Altynbek S. Mardanov¹, Talgat S. Jaxylykov¹, Zhansaya S. Murzagaliyeva¹

¹Atyrau branch of KMG Engineering, Atyrau, Kazakhstan

²KazGerMunai, Kyzylorda, Kazakhstan

ABSTRACT

At the current stage of development of the oil and gas industry of our country, additional exploration of existing fields, understudied promising areas, identification of missed horizons, methods of evaluation and development

of non-standard reservoirs are of particular relevance. Reservoirs with low specific electrical resistivity can be referred to non-standard reservoirs, and there are some difficulties in assessing hydrocarbon prospects of these reservoirs. Low resistivity reservoirs can be productive reservoirs with high residual water saturation as well as reservoirs for which generally accepted interpretation techniques are ineffective. Proper analysis of the reasons that lead to underestimation of the resistivity of productive reservoirs allows choosing the most effective interpretation methods.

The article is devoted to the study of the features of reservoirs with low electrical resistivity, their nature and role in the process of fluid accumulation. The basic methods of identification of low resistivity zones in reservoir rocks, their physical and chemical characteristics that cause low resistivity, including mineralogical composition, saturation, porosity, permeability and pore space structure, are considered, and their influence on the filtration-capacitance characteristics is analyzed. Approaches to integrating data from various methods (geophysical and geological-technological studies, laboratory measurements) are described. Special attention is paid to the influence of low resistivity on the interpretation of data from geophysical methods. The results of the study have significant practical potential for optimization of field development.

Key words: low resistivity reservoir; resistivity; geophysical well testing; oil saturation; sandstone; minerals.

To cite this article:

Dzhumagaliyeva AK, Nyssangaliyeva SO, Akhmetov DA, Sagindykov KI, Mardanov AS, Jaxylykov TS, Murzagaliyeva ZS. Features of isolation and nature of low-resistivity oil-saturated reservoirs of Middle Jurassic deposits of the Akshabulak Central field of South-Torgai oil and gas basin. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2024;6(4):25–38. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108748>.

ӨОЖ 550.3

ГТАХР 37.01.05

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108748>

Қабылданды: 02.05.2024.

Мақұлданды: 12.12.2024.

Жарияланды: 31.12.2024.

Ғылыми шолу

Оңтүстік Торғай мұнай-газ бассейнінің Орталық Ақшабұлақ кен орнының орта Юра шөгінділерінің төмен омдық мұнаймен қаныққан коллекторларының бөліну ерекшеліктері мен табиғаты

А.К. Жұмағалиева¹, Ш.О. Нысанғалиева¹, Д.А. Ахметов², К.И. Сағындықов²,
А.С. Марданов¹, Т.С. Жақсылықов¹, Ж.С. Мырзағалиева¹

¹ҚМГ Инжиниринг Атыраулық филиалы, Атырау қаласы, Қазақстан

²ҚазГерМұнай, Қызылорда қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Біздің еліміздің мұнай-газ саласын дамытудың қазіргі кезеңінде жұмыс істеп тұрған кен орындарын, толық зерттелмеген перспективалы учаскелерді барлау, жіберіп алған көкжиектерді анықтау, стандартты емес коллекторларды бағалау және игеру әдістері ерекше өзекті болып отыр. Стандартты емеске электр кедергісі төмен коллекторларды жатқызуға болады, олардың көмірсутек перспективаларын бағалау кезінде кейбір қиындықтар туындайды. Қалдық қанықтылығы жоғары өнімді коллекторлар да, жалпы қабылданған интерпретация әдістері тиімсіз болып табылатын коллекторлар да төмен омды болуы мүмкін. Өнімді қабаттардың электрлік кедергісінің төмендеуіне әкелетін себептерді дұрыс талдау интерпретацияның ең тиімді әдістерін таңдауға мүмкіндік береді.

Мақала төмен электр кедергісі бар коллекторлардың ерекшеліктерін, олардың табиғатын және сұйықтықтың жинақталу процесіндегі рөлін зерттеуге арналған. Коллекторлық жыныстардағы төмен омдық аймақтарды анықтаудың негізгі әдістері, олардың минералогиялық құрамы, қанықтылығы, кеуектілігі, өткізгіштігі және кеуек кеңістігінің құрылымын қоса алғанда, төмен қарсылықты анықтайтын физика-химиялық сипаттамалары қарастырылады және сүзусыйымдылық сипаттамаларына әсері талданады. Өртүрлі әдістердің (геофизикалық және геологиялық-технологиялық зерттеулер, зертханалық өлшемдер) деректерін интеграциялау тәсілдері сипатталған. Төмен қарсылықтың геофизикалық әдістердің деректерін түсіндіруге әсеріне ерекше назар аударылады. Зерттеу нәтижелерінің кен орнын игеруді оңтайландыру үшін айтарлықтай практикалық болашағы бар.

Негізгі сөздер: төмен омдық коллектор, меншікті электр кедергісі, ұңғымаларды геофизикалық зерттеу, мұнай қанықтылығы, құмтас, минералдар.

Дәйексөз келтіру үшін:

Жұмағалиева А.К., Нысанғалиева Ш.О., Ахметов Д.А., Сағындықов К.И., Марданов А.С., Жақсылықов Т.С., Мырзағалиева Ж.С. Оңтүстік Торғай мұнай-газ кешенінде орналасқан Орталық Ақшабұлақ кенорнының юра шөгінділеріндегі меншікті кедергісі төмен мұнаймен қаныққан коллекторларды оқшалау және олардың табиғатын зерттеу // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2024. 6 том, №4, 25–38 б. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108748>.

Введение

В терригенном разрезе по данным геофизических исследований скважин газо- и нефтенасыщенные коллекторы зачастую отмечаются повышенным, по сравнению с вмещающими породами, электрическим сопротивлением, а водонасыщенные, в свою очередь, низким. Однако исключением являются низкоомные коллекторы нефти и газа, удельное электрическое сопротивление которых на уровне вмещающих пород или ниже. Характер насыщения таких коллекторов нередко интерпретируется как водонасыщенный, ввиду чего их часто пропускают, и они остаются неучтёнными [1].

В виде примера рассмотрим месторождение Акшабулак Центральный Южно-Торгайского нефтегазоносного бассейна, которое находится на территории Кызылординской и Карагандинской областей Казахстана. На месторождении пробурено 213 скважин. Тектоническая схема региона и сейсмическая карта с расположением скважин приведены на рис. 1 (а, б).

Физико-литологическая характеристика пород-коллекторов горизонтов Ю-0, Ю-I

Продуктивные горизонты отнесены к верхнеюрским (Ю-0, Ю-I, Ю-II, Ю-III) и нижнемеловым (М-II) отложениям. Породами-покрышками являются глинистые породы.

Рассматриваемые низкоомные продуктивные залежи относятся к горизонтам Ю-0 и Ю-I, которые принадлежат к речной фации. Горизонт Ю-I приурочен к верхней пачке верхнекумкольской подсвиты (J3km3), горизонт Ю-0 отнесён к акшабулакской свите (J3ak) и делится на пачки Ю-0-1 и Ю-0-2. Коллекторы горизонтов в пределах русловых зон представлены песчаниками мелко-

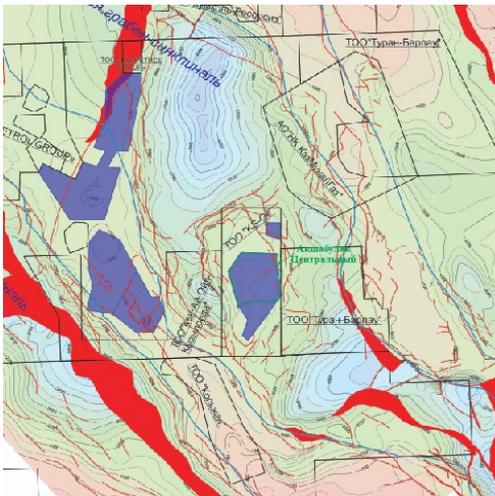
зернистыми, хорошо отсортированными, полевошпат-кварцевыми, крепкими и слабоцементированными, переходящими в пески и песчанистые алевролиты. Во внерусловых зонах коллекторы представлены подчинёнными прослойками кварцево-полевошпатовых, мелко- и среднезернистых, алевролитистых песчаников [2].

Общая проходка с отбором керна по рассматриваемым горизонтам составила 1068,3 м, общий линейный вынос – 900 м, или 84,2% от проходки. Общее количество отобранных образцов 1011 ед., из них кондиционные 569 анализов. Освещённость керном эффективной толщины составила в среднем по горизонтам 0,62 м/м, освещённость кондиционными анализами коллектора в среднем 1,58 ан/м (табл. 1). В целом качество и представительность извлечённого керна хорошее.

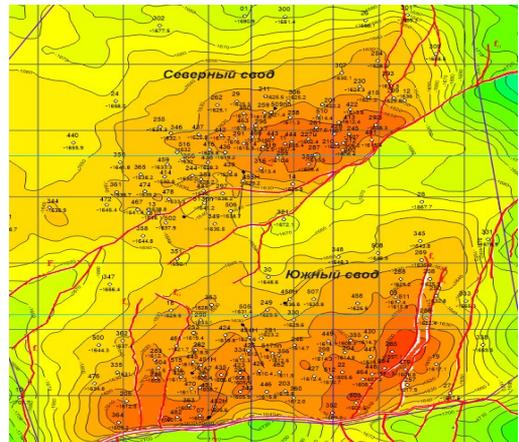
Представление о соотношении литологических разностей в отобранном керне по продуктивным горизонтам представлено в табл. 2 и на рис. 2, где показан вынос глины, песчаника, алевролита и обломочных пород.

Распределение гранулометрических фракций на диаграмме (рис. 3) указывает на преобладание в горизонтах Ю-0 и Ю-I тонко-, мелкозернистых коллекторов.

Для обоснования природы низких электрических сопротивлений продуктивных коллекторов горизонтов Ю-0 и Ю-I изучены стандартные и специальные исследования образцов керна, рентгено-дифракционный анализ (далее – XRD, *англ.* X-ray diffractometry), литолого-петрографическое описание шлифов [3].



а)



б)

**Рисунок 1. Тектонические особенности региона
Figure 1. Tectonic features of the region**

а) тектоническая схема региона / tectonic scheme of the region ; б) сейсмическая карта по кровле горизонта Ю-I / seismic map for the top of the U-I horizon

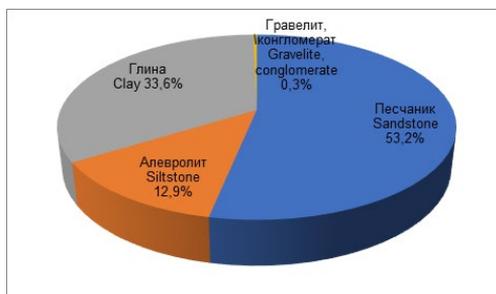


Рисунок 2. Распределение литологических разновидностей
Figure 2. Distribution of lithological variations

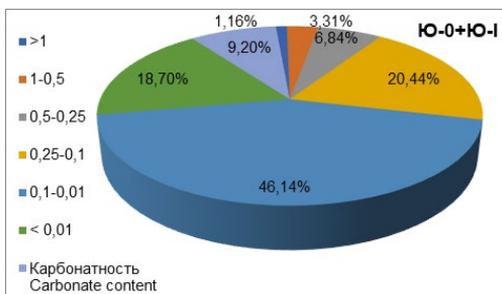


Рисунок 3. Распределение гранулометрического состава
Figure 3. Particle size distribution

Стандартный анализ керновых образцов включает определение пористости, проницаемости, плотности, гранулометрического состава, карбонатности, кальцемерии, минералогического анализа и гамма-активности. Специальные лабораторные исследования включают определение кривых капиллярного давления, относительной фазовой проницаемости, параметра пористости и насыщения, коэффициента вытеснения нефти водой.

Анализ пористости и проницаемости образцов керна, отобранных из нефтяной части коллектора продуктивных горизонтов Ю-0 и Ю-1, показал, что пористость коллекторов изменяется от 17,9% до 34,7%, средние значения по горизонтам варьируются от 23,2% до 27,2%. Проницаемость меняется в широком диапазоне – от 1 до 10000 мД, средние значения – от 126,2 до 1223 мД (табл. 3).

XRD-анализ позволил провести количественное определение минералогических фаз и содержание глинистых минералов. В табл. 4 представлены результаты исследования XRD, относящихся к продуктивным горизонтам Ю-0 и Ю-1. [4].

По литолого-петрографическому описанию шлифов коллекторы представлены песчаниками и алевролитами. Песчаники светло-, темно-серые, зеленоватые, с бурым оттенком, со средне-мелкими зёрнами, преимущественно мелкозернистые, полимиктового состава, преобладает кварц, в подчинённом количестве – полевые шпаты с редким тонким срезом слюд; форма зёрен угловатая, полуугловатая, некоторые зёрна остроугольные, удлинённые, с множеством послойно расположенного мелкого углефицированного растительного детрита. Зёрна кварца встречаются в виде неправильных, изредка в виде изометричных зёрен с прямым погасанием, с включением редких пузырьков газа. Полевые шпаты представлены альбитом неправильной вытянутой таблитчатой формы с чёткой спайностью. По наслоению встречаются мелкие фрагменты мшанок. Микроклин с характерной решёткой. Между зёрен виден

хлорит. Присутствует единственный мусковит. Обнаружены полуокатанные обломки глинисто-слюдистого содержания тёмного цвета. Обломки кремнистых пород угловатые, полуокатанные, с мелко-, микрочернистой структурой, неслоистые, с трещинками, секущими всю поверхность, выполненными кварцем. К кремнистому веществу иногда примешивается глинистое, углистое, реже железистое вещество. Обломки глинистых пород округлой формы состоят из каолинита и микрочешуйчатой гидрослюд. Пирит развивается по обломкам пород разного состава, образуя тонкую сыпь в цементе, также оконтуривает и скрепляет зерна песчаника в виде цемента. Он присутствует в виде скопелений в порах на обломках кварцитов и эффузивов. Альбит образует неправильно призматические кристаллы со ступенчатыми ограничениями. Бесцветен, прозрачен, совершенная спайность, двупреломление низкое, с узкими двойниковыми полосками. Цемент глинистый, глинисто-хлоритовый, порового, пленочного типа.

Алевролит мелко-, среднезернистый, от зелёных, светло-серых до тёмно-серых с фиолетовым оттенком, полимиктовый, полуугловатый, удлинённой формы, распределение обломков ориентированно расположено по наслоению, подчёркнутые тонкими ленточками слюд и тонкими прожилками углефицированных растительных остатков, участками слабослюдистые с включениями гидроокислов железа. Состав: кварц, полевые шпаты, слюды, хлорит, обломки кремнистых пород. Полевые шпаты (альбит, единичные микроклины) частично замещены по трещинам спайности слюдой и пылеватым пиритом. Углефицированный растительный детрит в виде крапа и усечённых срезов распределён послойно по поверхности шлифа. По некоторым из них наблюдается замещение слюдой. Встречаются обломки гидрослюдисто-глинистого содержания с пятнами ожелезнения. Обнаружены обломки кремнистых пород выполненные микрокварцем. Цемент глинисто-гидрослюдистый, плёночного типа. Участками

Таблица 1. Освещённость продуктивных горизонтов и эффективных толщин керном и анализами
Table 1. Illumination of productive horizons and effective thicknesses by core and analyses

Горизонт Horizon	Общая проходка с отбором керна Penetration with core selection			Кол-во образцов, ед. Number of samples, units	Кондиционные образцы, ед. Conditional samples, units	Эффективная толщина, м Effective thickness, m	Отбор керна по эффективным мощностям Core selection by effective capacity			Освещённость керном коллектора, м/м Core illumination of the reservoir, m/m	Кондиционные образцы, ед. Conditioned samples, units	Освещённость кондиционными анализами коллектора, ан/м Illumination with conditioned reservoir analyses
	проходка, м penetration, m	вынос керна core recovery					проходка, м penetration, m	вынос керна от проходки core removal from penetration				
		м m	%					м m	%			
Ю-0-1А	103,18	80,81	78,3	39	25	17	8,4	7,4	88,1	0,44	20	1,18
Ю-0-1Б	258	219,94	85,2	199	143	52,3	38,22	34,7	90,8	0,66	115	2,20
Ю-0-1Б (русл.)	114,61	114,03	99,49	227	197	95,7	89,6	89,6	100	0,94	194	2,03
Ю-0-2	352,74	310,24	88,0	497	251	121,9	89,5	80,2	89,6	0,66	212	1,74
Ю-0-2 (русл.)	53,65	47,55	88,63	110	81	71,4	47,1	42,27	89,75	0,59	81	1,13
Ю-1А	198,58	170,39	85,8	180	106	63,1	50	43,42	86,8	0,69	79	1,25
Ю-1Б	155,78	118,64	76,2	96	44	39,6	22,95	16,33	71,2	0,41	37	0,93
Ю-1 (русл.)	108,55	100,23	92,34	206	168	111	78,2	73,27	93,7	0,66	162	1,46
ВСЕГО TOTAL	1345,09	1161,8	86,4	1554	1015	572	423,97	387,19	91,3	0,68	900	1,57

Таблица 2. Содержание литологических разновидностей
Table 2. Content of lithological varieties

Горизонт Horizon	Вынос керна, м Core recovery, m	Песчаник Sandstone		Алевролит Siltstone		Гравелит, конгломерат Gravellite, conglomerate		Глина, аргиллит Clay, argillite	
		м m	%	м m	%	м m	%	м m	%
Ю-0-1А	91,25	29,21	32,0	20,47	22,4	3,71	4,1	37,86	41,5
Ю-0-1Б	329,26	180,11	54,7	33,14	10,1	-	-	116,01	35,2
Ю-0-2	358,37	188,01	52,5	51,93	14,5	-	-	118,43	33,0
Ю-1А	227,51	124,79	54,9	37,23	16,4	-	-	65,49	28,8
Ю-1Б	138,26	86,82	62,8	4,41	3,2	-	-	47,03	34,0
ИТОГО TOTAL	1144,65	608,94	53,2	147,18	12,9	3,71	0,3	384,82	33,6

алевролиты переходят в песчаники, либо отмечаются маломощные прослойки мелкозернистых песчаников [5].

Породы-покрышки представлены пестроцветными глинами и аргиллитами. Глины от чистых до запесоченных, текстура массивная, редко горизонтально слоистая, неконтрастная, участками переходящие в алевролиты, в глинах – кристаллы кальцита, гидроокислы железа, детриты гидроокислов марганца. Аргиллиты слабоалевритистые, структура алевропелитовая, в основном пелитовая, массивные, с зеркалами скольжения.

Анализ петрографии шлифов и результатов XRD-анализа показал наличие в коллекторах-песчаниках проводящих минералов с содержанием железа (пирит, гематит, сидерит, гидроокислы железа) и минерала анальцима,

обладающего высокой адсорбционной способностью [6].

Начальный этап интерпретации материалов геофизических исследований (далее – ГИС) начинается с разделения пород на глинистые и неглинистые, коллекторы и неколлекторы исходя из качественных и количественных критериев, характерных для терригенного разреза. Для этого использовался весь комплекс геолого-геофизических исследований.

Качественными критериями выделения коллекторов по ГИС являются: изменение зоны проникновения по многозондovому индукционному каротажу (далее – ВИКИЗ), наличие глинистой корки или сохранение номинального диаметра скважины на кавернометрии (далее – КВ), уменьшение естественной радиоактивности относительно вмещающих пород

Таблица 3. Значения коэффициентов пористости и проницаемости коллекторов по керну по горизонтам (нефтяная часть коллектора)
Table 3. Values of porosity and permeability coefficients of reservoirs based on cores by horizons (oil part of the reservoir)

Горизонт Horizon	Кп, %				Кпр, мД			
	кол-во скважин, ед. number of wells, units	кол-во определений, ед. number of definitions, units	среднее значение average value	интервал изменения range of variation	кол-во скважин, ед. number of wells, units	кол-во определений, ед. number of definitions, units	среднее значение average value	интервал изменения range of variation
Ю-0-1А	1	9	24,22	19–26,2	1	1	126,23	–
Ю-0-1Б	8	77	25,23	18–32,14	8	77	645,41	1,08–5600
Ю-0-1Б (русл.)	5	145	27,16	19,52–34,7	5	143	481,18	2,39–2190
Ю-0-2	15	153	24,57	17,9–32,7	15	146	592,98	1–10000
Ю-0-2 (русл.)	1	19	27,68	24,9–30,7	1	10	568,24	51,4–2069,8
Ю-1А	6	47	25,93	18,9–31,45	6	44	730,8	1,87–9200
Ю-1Б	1	9	23,21	18,6–28,4	1	8	186,44	2,17–614,7
Ю-1 (русл.)	3	107	26,81	18,26–32,33	3	99	1222,96	16–4686

Кп – коэффициент пористости / porosity coefficient, %; Кпр – коэффициент проницаемости, мД / permeability coefficient, mD

Таблица 4. Минералогический состав по результатам рентгенографического анализа
Table 4. Mineralogical composition according to X-ray analysis results

Минерал Mineral	Кол-во определений, ед. Number of definitions, units	Диапазон изменения, % Range of variation, %	Среднее значение, % Average value
Кварц / Quartz	311	2,1–73	42
Калиевый полевой шпат / Potassium feldspar	236	2–20,8	8
Плагиоклаз / Plagioclase	263	11–51	26,6
Кальцит / Calcite	85	1–45	4,7
Альбит / Albite	48	6,5–86	41,2
Анортит / Anorthite	1	–	18
Пироксены / Pyroxenes	1	–	15,5
Микроклин / Microcline	3	39–74	53,7
Кремний / Silicon	2	1,1–25	13
Гипс / Gypsum	2	11–15,1	13,1
Сидерит / Siderite	27	1–10	2,4
Пирит / Pyrite	84	1–6	1,3
Анальцим / Analcime	51	1–89	5,1
Гематит / Hematite	2	3–4	3,5
Доломит / Dolomite	26	1–2	2
Анкерит / Ankerite	2	5–6	5,5
Каолинит / Kaolinite	123	1–72	4,2
Хлорит / Chlorite	282	1–84	11,5
Иилит / Illite	257	1–78	15,6
Слюда / Mica	2	13–16	15

по гамма каротажу (далее – ГК), отрицательная аномалия по потенциалу самопроизвольной поляризации (далее – ПС), наличие приращеня микрозондов на кривых микрокаротажного зондирования (далее – МКЗ), увеличение интервального времени по акустическому каротажу (далее – АК), уменьшение водородосодержания по нейтронному каротажу (далее – НК) и снижение плотности по гамма-гамма плотностному каротажу (далее – ГГКп). Количественные критерии разделения пластов,

установленные по керну для горизонтов Ю-0 и Ю-1, составляют: коэффициент проницаемости (Кпр_гр) 1 мД, коэффициент пористости (Кп_гр) 17,5%, коэффициент объёмной глинистости (Кгл_гр) 38–40,8%. При оценке эффективных толщин из общей толщины выделенных коллекторов исключались глинистые, плотные и углистые прослои.

Следующий этап – оценка продуктивности и непродуктивности коллектора – проводится при последующем определении фильтрационно-

емкостных свойств. Объёмная глинистость (Кгл) рассчитывалась по ГК и ПС, пористость (Кп) определялась по данным методов ГГКп, НК, АК. Коэффициент нефтенасыщенности (Кн) коллекторов определяется по методу удельного электрического сопротивления с использованием петрофизических связей, обоснованных на керне месторождения, по уравнению Арчи-Дахнова (1–2):

$$P_{\Pi} = \frac{a}{K_{\Pi}^m} \quad (1)$$

$$P_H = \frac{b}{K_B^n} \quad (2)$$

где P_n и P_H – параметры пористости и насыщенности; K_n и K_B – коэффициенты пористости и водонасыщенности, д. ед.; a и b – структурные коэффициенты; m и n – экспоненты цементации и насыщения.

Удельное электрическое сопротивление (далее – УЭС) пород покрышек верхнеюрских отложений изменяется от 1,5 до 2,8 Ом·м, нефтенасыщенного коллектора – от 1,5 до 6,7 Ом·м, водонасыщенного – от 0,5 до 2,5 Ом·м. Переходная зона с неоднозначным характером насыщения по сопротивлению установлена в пределах 1,5–2,5 Ом·м. График зависимости сопротивления от пористости (рис. 4) демонстрирует независимость УЭС от пористости для нефтенасыщенных коллекторов и слабую зависимость – для водонасыщенных.

Сопоставление эффективной мощности и коэффициента глинистости нефтенасыщенных коллекторов с сопротивлением коллекторов по данным ГИС (рис. 5) показывает, что изменение мощности коллекторов от 0,4 до 5,5 м и глинистости от 5% до 41% также не отражается на удельном электрическом сопротивлении.

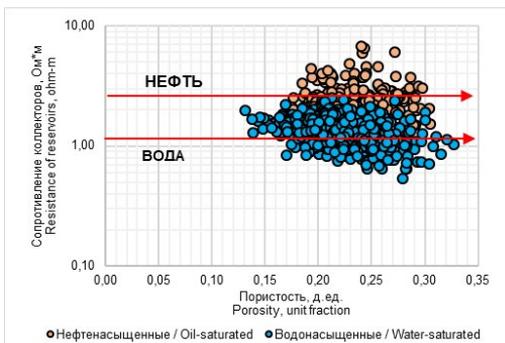


Рисунок 4. Изменение сопротивления в зависимости от характера насыщения коллекторов

Figure 4. Change of resistance depending on the nature of saturation of reservoirs

Определение характера насыщения низкоомных коллекторов Ю-0 и Ю-1 вызывает трудности, т.к. стандартная методика выделения коллекторов по изменению их сопротивления при насыщении различными флюидами оказывается неприменимой. Поэтому для определения характера насыщения таких коллекторов дополнительно привлекаются данные геолого-технологических исследований (далее – ГТИ) с отбором шлама.

На рис. 6 приведена геолого-геофизическая характеристика разреза скважины 479, где по комплексу методов АК, ННК, ГГКп, МКЗ можно выделить коллекторы, однако однозначное определение характера насыщения по ВИКИЗ затруднено в силу низкой дифференциации кривой сопротивления напротив нефтенасыщенных коллекторов. В таких случаях использование результатов газового каротажа позволяет определить продуктивность низкоомных интервалов по составу и количеству углеводородных газовых компонент.

Скважина 479 пробурена на южном своде после пересчёта запасов нефти и газа 2015 г. Как видно из рис. 7, она была заложена и пробурена в зоне отсутствия коллектора, по результатам ГИС опробована, и получен приток нефти. На рис. 7 (а) представлена структурная карта по горизонту Ю-1 в 2015 г., на рис. 7 (б) – в 2021 г.

Рассмотрим южный свод горизонта Ю-0-1б. На рис. 8 представлены структурные карты по данному горизонту за 2015 и 2021 гг. соответственно. За счёт бурения новых скважин, выделения по ГИС низкоомных коллекторов, их опробования в ряде скважин (421, 423, 425, 426, 464) и установления продуктивности в нерусловых отложениях часть зоны отсутствия коллекторов и категория запасов С2 переведена в категорию С1, что в целом привело к увеличению площади нефтеносности с приростом геологических запасов.

На северном своде горизонта Ю-0-2 с целью повышения эффективности геолого-технических мероприятий (далее – ГТМ) в 2019–2021 гг. по скважинам 245, 413, 422, 359 методом гидроразрыва пласта (далее – ГРП) с закачкой пропанта были освоены низкоомные пласты-коллекторы мощностью от 0,5 до 1,9 м и сопротивлением от 1,5 до 4,4 Ом·м.

В табл. 5 приведены средние показатели до и после выполнения ГТМ и процентная величина достижения планового прироста дебита нефти по скважинам 245, 413, 422, 359.

На рис. 10 представлена геолого-геофизическая характеристика скважины 413. Эффективная мощность нефтенасыщенных пластов горизонта Ю-0-2 составляет от 0,6 до 1,5 м, в общем – 6,2 м. Сопротивление пластов от 1,5 до 2,8 Ом·м, при этом верхние три коллектора с сопротивлением 2,2–2,8 Ом·м, а нижние пласты низкоомные с сопротивлением 1,5–1,7 Ом·м. При первичной интерпретации

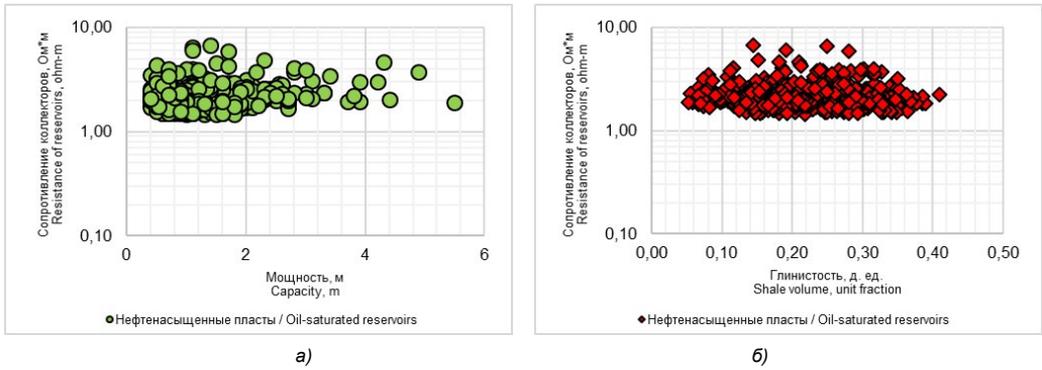


Рисунок 5. Сопоставление
Figure 5. Matching

а) мощности и сопротивления коллекторов / power and resistance of reservoirs; б) коэффициента глинистости и сопротивления коллекторов / shale volume coefficient and resistance

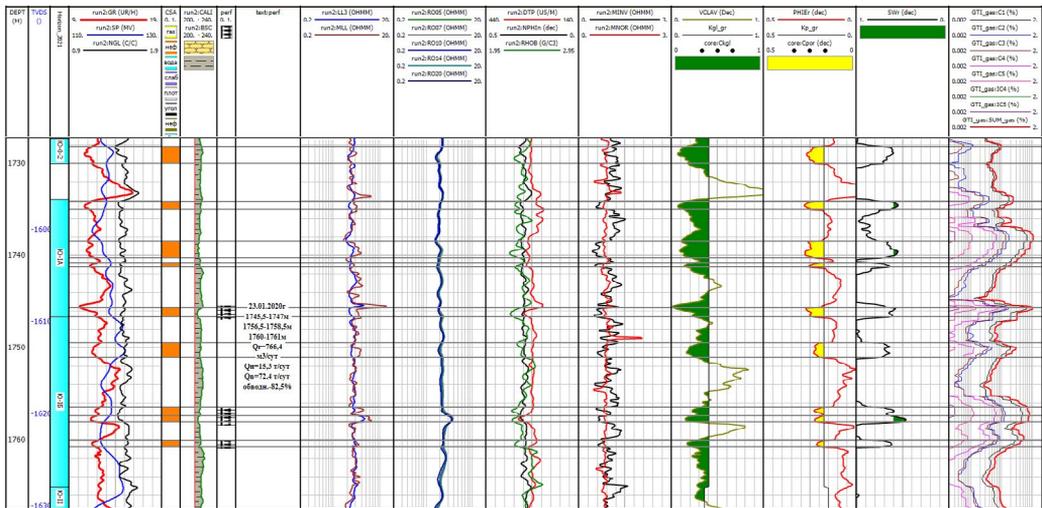


Рисунок 6. Геолого-геофизическая характеристика низкоомных коллекторов.
Горизонт Ю-I. Скважина 479
Figure 6. Geological and geophysical characterisation of low-resistivity reservoirs.
U-I horizon. Well No. 479

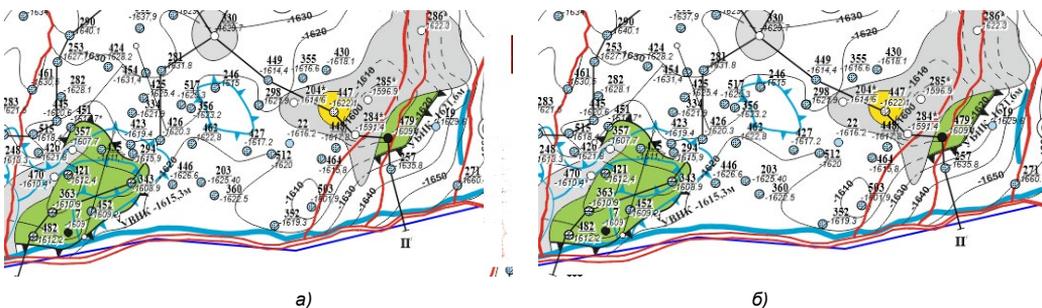


Рисунок 7. Структурная карта по горизонту Ю-I
Figure 7. Structural map of the U-I horizon

а) подсчёт запасов, 2015 г. / reserves estimation, 2015; б) подсчёт запасов, 2021 г. / reserves estimation, 2021

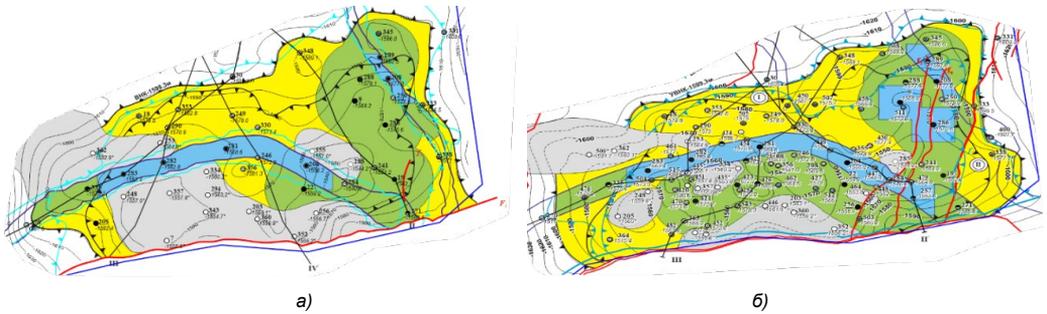


Рисунок 8. Структурная карта по горизонту Ю-0-1б
Figure 8. Structural map of the U-0-1b horizon

a) подсчёт запасов, 2015 г. / reserves estimation, 2015; б) подсчёт запасов, 2021 г. / reserves estimation, 2021

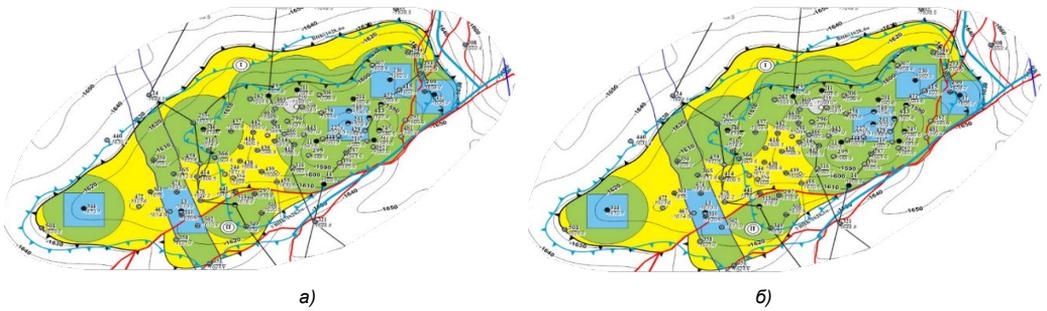


Рисунок 9. Структурная карта по горизонту Ю-0-2
Figure 9. Structural map of the U-0-2 horizon

a) подсчёт запасов, 2015 г. / reserves estimation, 2015; б) подсчёт запасов, 2021 г. / reserves estimation, 2021

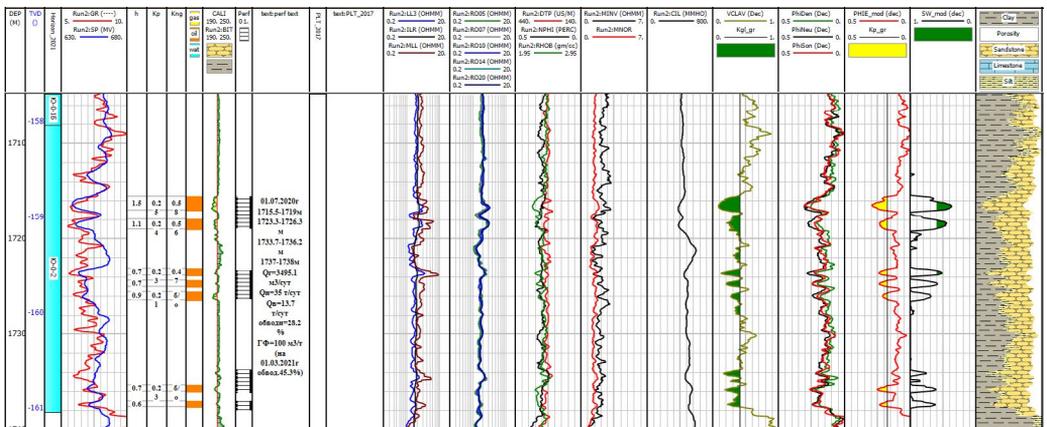


Рисунок 10. Геолого-геофизическая характеристика низкоомных коллекторов.
Горизонт Ю-0-2. Скважина 413
Figure 10. Geological and geophysical characterisation of low resistivity reservoirs.
U-0-2 horizon. Well No. 413

ГИС из-за низких значений удельного электрического сопротивления характер насыщения нижних пластов был определен как водонасыщенный. Однако при освоении горизонта Ю-0-2 были перфорированы все выделенные пласты-коллектора и, как видно

из табл. 5, средний дебит нефти составил 45 т/сут при обводненности 5%.

При оценке нефтенасыщенности коллекторов с низким УЭС Кп по ГИС, соответственно, заниженный. При утверждённом Кп_гр 40% коэффициент нефтенасыщенности

Таблица 5. Средние показатели прироста до и после выполнения ГТМ
Table 5. Average increase rates before and after Well Intervention

№ скв. Well No.	Горизонт Horizon	Дата пуска после ГТМ Date of start-up after Well Intervention	Отработанные дни, сут Working days, days	Средние показатели до ГТМ Average indicators before Well Intervention			Средние показатели после ГТМ на год проведения Average indicators after Well Intervention for the year of implementation			Прирост, т/сут Increase, t/day				Накопленная дополнительная добыча, т Cumulative additional production, t
				Ож, м³/сут (m³/day)	обводнённость, % water cut, %	Qн, т/сут (t/day)	Ож, м³/сут (m³/day)	обводнённость, % water cut, %	Qн, т/сут (t/day)	план plan	факт fact	разница difference	% дост. availability %	
245	Ю-0-2	14.05.2019	224	-	-	-	27,5	12,7	20,1	4,6	18,1	13,5	390,6	4050,3
413	Ю-0-2	08.07.2020	177	-	-	-	56,7	5	45	6,4	45	38,6	703,4	7969
422	Ю-0-2	12.07.2020	152	-	-	-	16,9	20	11,4	6,4	11,4	5	178,5	1736
359	Ю-0-2	02.07.2021	174	114,1	94	5,5	58,3	2	47,9	5,1	42,7	37,6	835,4	7422,3

Qж – объем жидкости / liquid volume ; Qн – объем нефти / oil volume

большинства низкоомных нефтенасыщенных коллекторов горизонтов Ю-0 и Ю-1 с сопротивлением от 1,5 до 2,5 Ом·м оказываются ниже граничного Кн.

На рис. 11 приведен пример геолого-геофизической характеристики скважины 11, где видна хорошая сопоставимость лабораторных анализов керна по определению глинистости, пористости и проницаемости с этими же параметрами, определёнными по методам ГИС. В силу низкоомности разреза по ря-

ду пластов $K_n < K_{n_гр}$, и поэтому при расчётах средневзвешенных значений $K_{нсрв}$ данные коллектора не учитывались.

В связи с этим была предпринята попытка расчёта K_n по соотношению, установленному по керну между остаточной водонасыщенностью и пористостью по данным центрафигурования, вытеснения водой нефти, уравнение для горизонтов Ю-0 и Ю-1 имеет вид (3) (рис. 12):

$$K_{во} = 0,18 * K_p - 0,579 \quad (3)$$

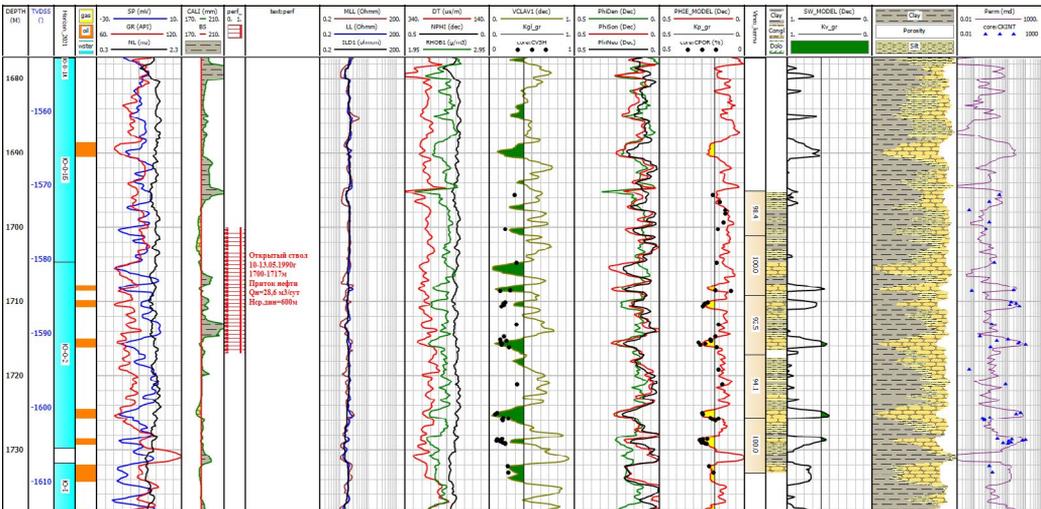


Рисунок 11. Геолого-геофизическая характеристика низкоомных коллекторов верхнеюрских отложений. Горизонты Ю-0 и Ю-1. Скважина 11
Figure 11. Geological and geophysical characterisation of low-resistivity reservoirs of Upper Jurassic sediments. Horizons U-0 and U-1. Well No. 11

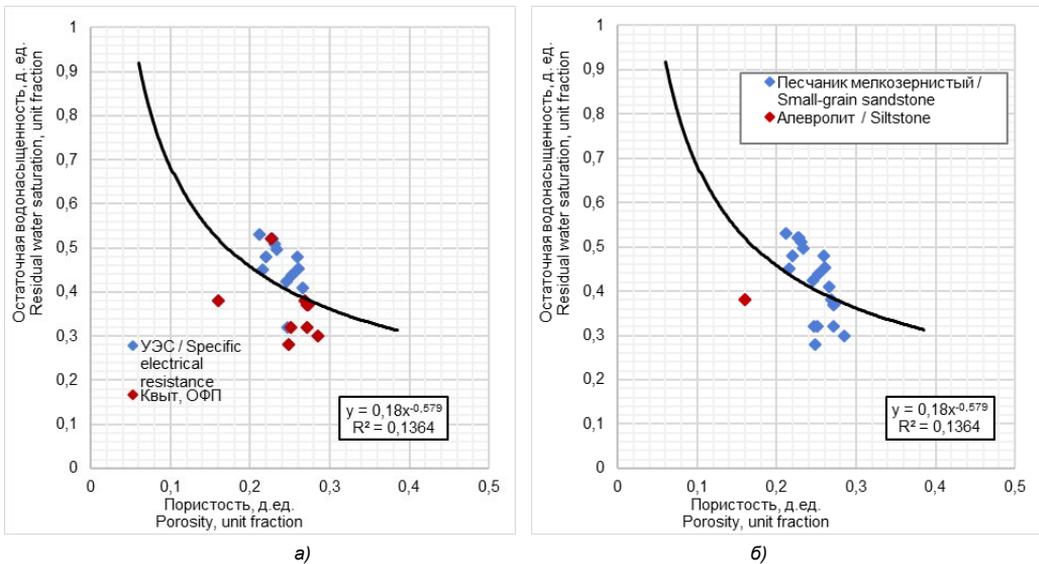


Рисунок 12. Зависимость остаточной водонасыщенности от пористости по данным специальных анализов ядра

Figure 12. Dependence of residual water saturation on porosity based on special core analyses data

а) горизонт Ю-0 / Horizon U-0; б) горизонт Ю-1 / Horizon U-1

Квйт – коэффициент вытеснения / oil recovery factor; *ОФП* – относительная фазовая проницаемость / relative permeability

На данном рисунке наглядно показано, что используемые для графика образцы ядра литологически представлены преимущественно мелкозернистым песчаником и единично – алевритом. Однако из-за недостаточного количества образцов коэффициент корреляции получился очень низким $R^2 = 0,1364$ и, соответственно, на практике данный метод определения водонасыщенности K_v неприменим [7].

В последующем при достаточном количестве специальных анализов по определению остаточной водонасыщенности по горизонтам Ю-0 и Ю-1 рекомендуется установить связь (4) и при хорошем корреляционном коэффициенте применить её к данным ГИС, определив граничное значение K_n .

$$K_{vo} = f(K_n) \quad (4)$$

Результаты и обсуждение

В целом, проведя обзор основных причин снижения УЭС нефтенасыщенных коллекторов – тонкое чередование песчаных и глинистых пород, присутствие в породе электропроводящих минералов группы пирита, повышенная глинистость коллекторов и мелкозернистость, влияние связанной водонасыщенности, обстановка седиментогенеза, преобразование минералов, состав и текстурные особенности распределения глинистых минералов и пр. [8], можно выстроить следующую причинно-следственную цепочку: фациальная основа

седиментогенеза – полиминеральный литотип породы – сорбция – образование пленочно-связанной воды – появление поверхностной проводимости – заполнение УВ – образование низкоомного коллектора. Видно, что первопричиной является процесс седиментации, формирующий соответствующий песчаный литотип породы, а именно мелкогранулярной либо внутривыворо-структурированной или слоистой глинистости, а также пиритизированный по поверхности сообщающихся пор. В основном это зависит от фациальной обстановки. Процессы сорбции глинистыми минералами молекул воды и образования её связанного состояния по поверхности пор формируют замкнутую электрическую цепь, в которую могут быть встроены высокоэлектропроводящие минералы группы пирита, формирующие отдельную электрическую сеть. А поскольку УЭС минералов группы пирита очень низкое (10^{-4} – 10^{-2} Ом·м), то их влияние значительно как при параллельном, так и при последовательном соединении [9].

Таким образом, можно предполагать, что причинами низкого удельного электрического сопротивления нефтенасыщенных коллекторов верхнеюрских отложений месторождения Акшабулак Центральный являются переслаивание песчаных и глинистых пород, мелкозернистость, присутствие в них электропроводящих минералов (пирита, сидерита, гематита, гидроокислов железа), которые представлены как отдельными минеральными видами, так и разными генерациями [10].

Помимо этого на сопротивление пласта также может оказывать влияние наличие глинистых минералов с повышенной поверхностной электропроводностью.

В дальнейшем при выполнении пересчёта запасов нефти и газа по месторождению перспективность низкоомных нефтенасыщенных коллекторов необходимо устанавливать по комплексному анализу материалов ГИС, результатов газового каротажа и проводимых

испытаний горизонтов Ю-0 и Ю-1 с учётом снижения критического значения сопротивления нефтенасыщенных пластов до 1,5 Ом·м и уточнения граничного коэффициента нефтенасыщенности по специальным исследованиям ядра. Учитывая вышеуказанное, рекомендуется пересмотреть зоны отсутствия коллекторов и пропущенные продуктивные интервалы в Ю-0 и Ю-1 для выявления в них содержания углеводородов.

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: Джумагалиева А.К. – сбор, анализ геолого-геофизических материалов, интерпретация данных ГИС и ядра по месторождению, составление текстовой части, таблиц и графиков, редактирование рукописи; Нысангалиева Ш.О. – сбор и анализ керновых данных и составление по ним таблиц, диаграмм и гистограмм; Ахметов Д.А. – анализ геолого-геофизического материала; Сагиндыков К.И. – анализ данных ГИС, составление графиков, составление части текстового материала;

Марданов А.С., Джаксылыков Т.С., Мурзагалиева Ж.С. – общее руководство.

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. The largest contribution is distributed as follows: Ainagul K. Dzhumagaliyeva – collection and analysis of geological and geophysical materials, interpretation of GIS data and core data for the field, preparation of the text section, tables, and graphs, manuscript editing; Shynar O. Nyssangaliyeva – collection and analysis of core data, preparation of tables, diagrams, and histograms; Duman A. Akhmetov – analysis of geological and geophysical data; Kairat I. Sagindykov – analysis of well-logging operations data, preparation of graphs, writing of text sections; Altynbek S. Mardanov, Talgat S. Jaxylykov, Zhansaya S. Murzagaliyeva – general supervision.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ошлакова А.С. Анализ геофизических и эксплуатационных данных низкоомных коллекторов // Известия ТПУ. 2011. Т. 315, № 1. С. 68–72.
2. Малиновский Ю.М. Нефтегазовая литология. Москва : РУДН, 2009. 217 с.
3. Семенов В.В., Питкевич В.Т., Мельник И.А., Соколова К.И. Исследование низкоомных коллекторов с использованием данных кернового материала и НКТ // Геофизика. 2006. № 2. С. 42–47.
4. Чикишев А.Ю., Чикишев Ю.А., Ковалева Н.П., и др. Причина наличия низкоомных коллекторов юрских отложений Каймысовского свода // Нефтяное хозяйство. 2006. №8. С. 42–45.
5. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика (физика горных пород). Учебник для ВУЗов. Москва : Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им.И.М. Губкина, 2004. 368 с.
6. Мельник И.А. Причины понижения электрического сопротивления в низкоомных коллекторах // Геофизические исследования. 2014. Т.15, №4. С. 44–53.
7. Ежова А.В. Методика оценки нефтенасыщенности низкоомных коллекторов в юрских отложениях Юго-Востока Западно-Сибирской плиты // Известия ТПУ. 2006. Т. 309, №6. С. 23–26.
8. Ежова А.В., Лубина В.Ф., Боркун Ф.Я., Сальникова Н.И. Влияние сульфидных образований на петрофизические свойства коллекторов горизонта Ю-1. Томск : ТПИ, 1991. 162 с.
9. Гусев С.И. Анализ причин, приводящих к снижению удельного электрического сопротивления продуктивных коллекторов // Нефтепромысловое дело. 2016. №5. С. 36–40.
10. Зарипов О.Г., Сонич В.П. Влияние литологии пород-коллекторов на удельное электрическое сопротивление пластов // Нефтяное хозяйство. 2001. № 9. С. 18–21.

REFERENCES

1. Oshlakova AS. Analiz geofizicheskikh i ekspluatatsionnykh dannykh nizkoomnykh kollektorov. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2011;315(1):68–72. (In Russ).
2. Malinovskiy YM. Neftegazovaya litologiya. Moscow : RUDN; 2009. 217 p.
3. Semenov VV, Pitkevich VT, Mel'nik IA, Sokolova KI. Issledovaniye nizkoomnykh kollektorov s ispol'zovaniyem dannykh kernovogo materiala i NKT. *Geophysics*. 2006;2:42–47. (In Russ).
4. Chikishev AY, Chikishev YA, Kovaleva NP, et al. Prichina nalichiya nizkoomnykh kollektorov yurskikh otlozheniy Kaimysovskogo svoda. *Oil Industry*. 2006;8:42–45. (In Russ).
5. Dobrynin VM, Vendel'shtein BY, Kozhevnikov DA. Petrofizika (fizika gornyykh porod). *Uchebnik dlya VUZov*. Moscow : Izd-vo «Neff' i gaz» RGU nefti i gaza im.I.M. Gubkina; 2004. 368 p. (In Russ).
6. Mel'nik IA. Prichiny ponizheniya elektricheskogo soprotivleniya v nizkoomnykh kollektorah. *Geophysical research*. 2014;15(4):44–53. (In Russ).
7. Yezhova AV. Metodika otsenki neftenasyschennosti nizkoomnykh kollektorov v yurskikh otlozheniyakh Yugo-Vostoka Zapadno-Sibirskoy plity. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2006;309(6):23–26. (In Russ).
8. Yezhova AV, Libina VF, Borkun FY, Sal'nikova NI. *Vliyaniye sul'fidnykh obrazovaniy na petrofizicheskiye svoystva kollektorov gorizonta Yu-1*. Tomsk: TPU; 1991. 162 p. (In Russ).
9. Gusev SI. Analiz prichin, privodyashchikh k snizheniyu udel'nogo elektricheskogo soprotivleniya produktivnykh kollektorov. *Oilfield engineering*. 2016;5.:36–40. (In Russ).
10. Zariпов OG, Sonich VP. Vliyaniye litologii porod-kollektorov na udel'noe elektricheskoye soprotivleniye plastov. *Oil Industry*. 2001;9:18–21. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

***Джумагалиева Айнагуль Карловна**

ORCID [0009-0004-4703-1469](https://orcid.org/0009-0004-4703-1469)

e-mail: a.jumagaliyeva@kmge.kz.

Нысангалиева Шынар Орынгалыкызы

ORCID [0009-0004-0455-7161](https://orcid.org/0009-0004-0455-7161)

e-mail: sh.nysangaliyeva@kmge.kz.

Ахметов Думан Аманбекович

PhD

ORCID [0000-0002-3398-4670](https://orcid.org/0000-0002-3398-4670)

e-mail: dakhmetov@kgm.kz.

Сагиндыков Кайрат Исламитдинович

ORCID [0009-0001-5645-2626](https://orcid.org/0009-0001-5645-2626)

e-mail: ksagyndykov@kgm.kz.

Марданов Алтынбек Сүлейменулы

ORCID [0000-0002-8342-3046](https://orcid.org/0000-0002-8342-3046)

e-mail: a.mardanov@kmge.kz.

Джаксылыков Талгат Сайнович

ORCID [0000-0002-1530-3974](https://orcid.org/0000-0002-1530-3974)

e-mail: t.jaxylykov@kmge.kz.

Мурзагалиева Жансая Сайлауовна

ORCID [0000-0002-2657-8324](https://orcid.org/0000-0002-2657-8324)

e-mail: zh.murzagaliyeva@kmge.kz.

AUTHORS' INFO

***Ainagul K. Dzhumagaliyeva**

ORCID [0009-0004-4703-1469](https://orcid.org/0009-0004-4703-1469)

e-mail: a.jumagaliyeva@kmge.kz.

Shynar O. Nyssangaliyeva

ORCID [0009-0004-0455-7161](https://orcid.org/0009-0004-0455-7161)

e-mail: sh.nysangaliyeva@kmge.kz.

Duman A. Akhmetov

PhD

ORCID [0000-0002-3398-4670](https://orcid.org/0000-0002-3398-4670)

e-mail: dakhmetov@kgm.kz.

Kairat I. Sagindykov

ORCID [0009-0001-5645-2626](https://orcid.org/0009-0001-5645-2626)

e-mail: ksagyndykov@kgm.kz.

Altynbek S. Mardanov

ORCID [0000-0002-8342-3046](https://orcid.org/0000-0002-8342-3046)

e-mail: a.mardanov@kmge.kz.

Talगत S. Jaxylykov

ORCID [0000-0002-1530-3974](https://orcid.org/0000-0002-1530-3974)

e-mail: t.jaxylykov@kmge.kz.

Zhansaya S. Murzagaliyeva

ORCID [0000-0002-2657-8324](https://orcid.org/0000-0002-2657-8324)

e-mail: zh.murzagaliyeva@kmge.kz.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author