

ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНОГО ДОЮРСКОГО КОМПЛЕКСА ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАСЕЙНА

А. Д. Алексеев¹ , В. Д. Немова^{1,2*} , Е. Е. Сапогова¹ , Ю. В. Ростовцева³ 

¹ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия

²РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Москва, Россия

³Геофизический центр Российской академии наук, Москва, Россия

* **Контакт:** Варвара Дмитриевна Немова, Varvara.Nemova@lukoil.com

Статья посвящена комплексному анализу нефтегазоносности доюрского вулканогенно-осадочного комплекса (ДЮК) в пределах Западно-Сибирского осадочного бассейна. На основе существующей петрогенетической типизации вулканитов кровли ДЮК разработана модель крупных циклов извержения, устанавливающая распределение пород-коллекторов и неколлекторов. Для снижения неопределённости межскважинной корреляции предложена методика разделения пород по стандартному комплексу геофизических исследований скважин (ГИС), оценивающая вероятность принадлежности петрогенетических типов к коллекторам или неколлекторам. Совместная интерпретация данных сейсморазведки, скважинных материалов, петрографических и литологических исследований ядра позволила отождествить элементы циклов в сейсмическом поле и построить поверхности условных геологических тел, связанных с природными резервуарами. Применение разработанного алгоритма на месторождении в Западной Сибири (более 300 скважин) показало, что ДЮК сложен серией из 10 линзовидных пачек, латерально перекрывающих территорию «черепично»: от одной пачки на востоке до наложения трёх пачек на северо-западе. Хотя для полного построения модели ДЮК, пригодной для планирования разработки и доразведки, требуется дополнительное изучение гидродинамической связи между объектами (усложнённой высокой латеральной и вертикальной изменчивостью и разрывными нарушениями), проделанная работа формирует основу для последующего эффективного исследования подобных пород.

Ключевые слова: вулканиты, методика классификации пород по данным ГИС, коллекторские свойства, доюрский комплекс, Западно-Сибирская плита.

Цитирование: Алексеев А. Д., Немова В. Д., Сапогова Е. Е., Ростовцева Ю. В. Изучение природных резервуаров вулканогенно-осадочного доюрского комплекса Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Russian Journal of Earth Sciences. — 2025. — Т. 25. — ES4014. — DOI: 10.2205/2025es001043 — EDN: KJDUFZ

Научная статья

<https://elibrary.ru/KJDUFZ>

Получено: 2 июня 2025 г.

Принято: 13 июля 2025 г.

Опубликовано: 30 сентября 2025 г.



© 2025. Коллектив авторов.

Введение

В Западно-Сибирском осадочном бассейне принято выделять два этажа нефтегазоносности. Верхний – юрско-кайнозойский представлен терригенными породами, достаточно хорошо изучен, так как к нему приурочено большинство разрабатываемых месторождений. Нижний – доюрский этаж, представленный гетерогенными породами фундамента, изучен слабо, но интерес к нему с каждым годом нарастает в связи с перспективой наращивания ресурсной базы УВ.

Изучение нефтегазоносности доюрского вулканогенно-осадочного комплекса (ДЮК) является нетривиальной задачей по причине необходимости учёта его специфических качеств, из-за которых устоявшиеся традиционные методы поиска и разведки

месторождений не могут быть применены в полной мере. Особенно это касается вулканогенных пород, так как приуроченные к ним месторождения в мире встречаются достаточно редко, опыта их разведки и разработки, описанного в литературе, мало.

Выбор эффективных подходов исследования вулканогенно-осадочного комплекса отложений, опираясь на которые можно строить модели с прогнозной способностью, удовлетворяющей целям планирования разработки, является актуальной задачей в связи с тем, что в Западной Сибири количество месторождений, где он вводится в разработку, неуклонно растёт. Решение вопроса невозможно без практически ориентированной типизации пород, адаптации методов выделения коллекторов с учётом сложного характера пустотного пространства, подбора площадных методов прогноза с использованием дистанционных методов, таких как 3D-сейсморазведка.

Изучаемое месторождение многопластовое, основной технологией его разработки является бурение наклонно-направленных скважин с последующим гидроразрывом пласта (ГРП) с целью интенсификации притока. Наличие техногенной трещиноватости приводит к искажению профилей притока в скважинах, определяемых по промыслово-геофизическим исследованиям (ПГИ), что не позволяет их полноценно привлечь в качестве прямых методов для поиска признаков коллектора по другим косвенным данным, таким как геофизические исследования скважин (ГИС), материалы лабораторного исследования керна, результаты газового каротажа в процессе бурения. Эти факты сужают спектр возможных подходов для выделения коллекторов, и усложняют процесс доказательства достоверности методов локализации объектов разработки в разрезе и прогноза их развития по площади.

Статья посвящена изучению доюрского комплекса на примере одного разрабатываемого месторождения Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна и отражает ключевые выводы, полученные при увязке результатов углублённого анализа керна с петрофизическими, промыслово-геофизическими и сейсмическими данными, проведёнными с целью формирования взаимосогласованных подходов эффективных исследований ДЮК, прогноза развития в нем коллекторов по площади и планирования дальнейшей разработки. Необходимо подчеркнуть, что достижение заявленной цели представляет собой сложную, разнонаправленную задачу, которую невозможно решить в рамках одной дисциплины, поэтому следует работать в слаженной мультидисциплинарной команде.

Петрогенетическая типизация вулканитов кровли нефтеносного доюрского комплекса

В статье [Ростовцева и др., 2025] для изучаемых пород вулканогенно-осадочного доюрского комплекса предлагается использовать термин «вулканиты», который широко применяется в отечественной геологии и за рубежом. Под «вулканитами» понимаются любые продукты вулканизма, включающие эффузивные, вулканокластические и вулканогенно-осадочные разности, независимо от их химического состава.

Вулканогенно-осадочный комплекс ДЮК на изучаемом месторождении исследован путём анализа существенного объёма керна и шлифов с уточнением состава пород методами рентгенофлуоресцентного, рентгеноструктурного анализа и зондовой электронной микроскопии. По набору первичных породообразующих минералов вулканиты изучаемого месторождения однотипны и относятся к магматическим породам кислого состава, отвечающим риолитам и дацитам. Как правило, они характеризуются разной степенью вторичных преобразований, влияние которых может существенным образом сказываться на минеральном составе пород и коллекторских свойствах. Породы сгруппированы в литотипы и петротипы, проинтерпретированные с точки зрения их генезиса, предопределяющего морфологию геологических тел (табл. 1). Из выделенных групп пород ДЮК на основании генетической интерпретации составлена схема их идеализированного «сонахождения» (рис. 1а), исходя из коллекторских свойств генетических типов пород построена аналогичная схема соотношения коллекторов и неколлекторов в одном цикле извержения (рис. 1б).

На исследуемом месторождении доказано наличие множественных каналов излияния лав, их чередования с продуктами эксплозивных извержений, а также влияние наложенных тектонических процессов, разбивших вулканические покровы на блоки. Следовательно, рассматриваемый комплекс имеет крайне сложную морфологию и соотношение пород-коллекторов и пород-покрышек, осложнённых разрывными нарушениями с высокоамплитудными смещениями [Немова и др., 2024; Смирнова и др., 2024; Хисамутдинова и др., 2021; Хромова и др., 2015]. Без разработки методов идентификации элементов цикла извержения, идеализированная схема которого представлена на рис. 1, решение задачи отождествления объектов ДЮК в скважинах и их прослеживания по площади (корреляция) не представляется возможным.

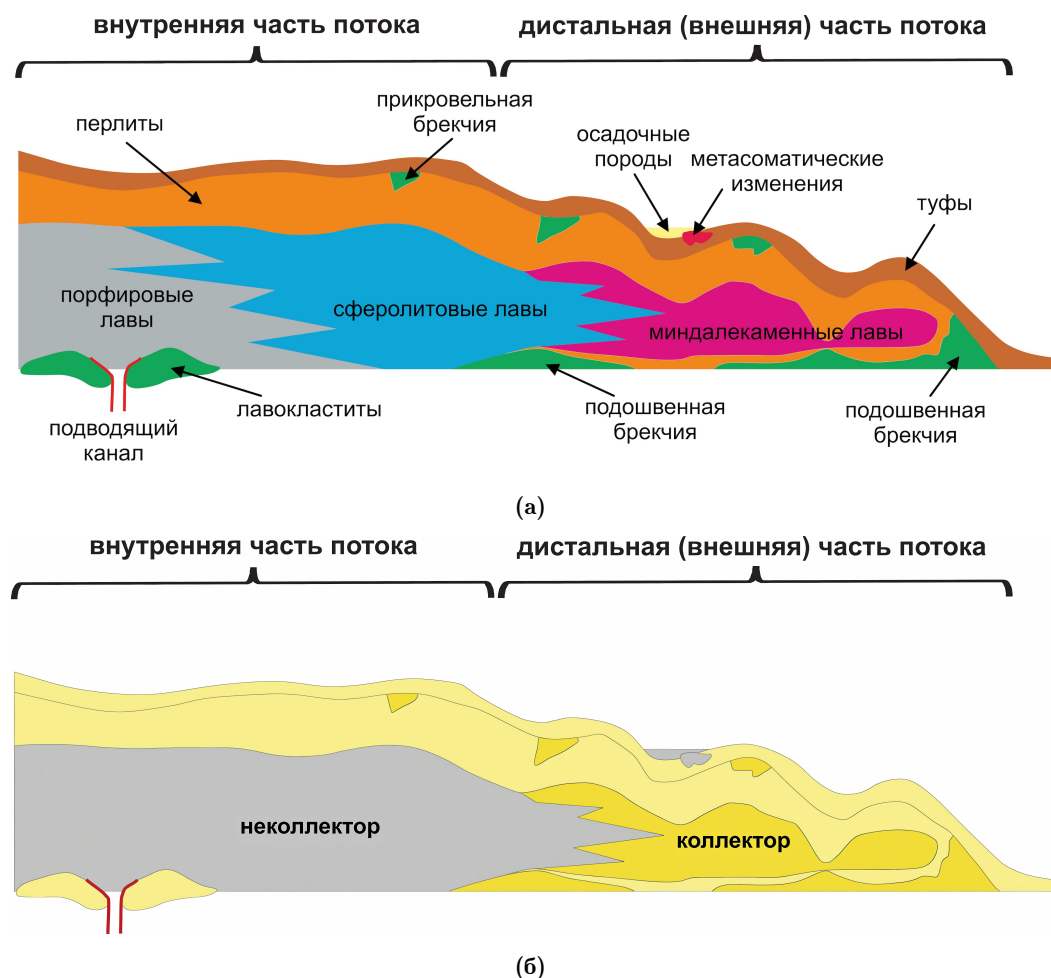


Рис. 1. Принципиальные схемы соотношения [по *Bonnichsen and Kauffman*, 1987, с дополнениями] (а) выделенных типов пород в разрезе одного крупного цикла извержения и (б) коллекторов – неколлекторов.

По минеральному составу изученные породы ДЮК довольно однотипны, не имеют явных признаков, обусловленных различным вещественным составом, по которому их можно различать в скважинах по показаниям методов ГИС. В этой связи следует ожидать, что основные контрасты в полях геофизических методов обусловлены изменениями фильтрационно-ёмкостных свойств (ФЕС), поэтому решение задачи идентификации элементов цикла извержения видится, прежде всего, через поиск надёжных методов разделения пород на коллекторы и неколлекторы. Далее, опираясь на керновые исследования, необходимо выполнить работу по идентификации основных групп пород в скважинах. На третьем этапе необходимо выяснить условия, при которых формируется отражающий горизонт в сейсмическом волновом поле, и каким образом отражающая граница связана с элементами цикла извержения.

Таблица 1. Петротипизация пород доюрского комплекса с генетической интерпретацией [Ростовцева и др., 2025]

Группа	Ряд	Генотипы		Группы петротипов/ литотипов	Петротипы/ литотипы	Возможный коллектор/ неколлектор	
Вулканогенная	Эффузивный	Лава	Купола и лавовые потоки	Первая группа: Эффузивы с афировой структурой (А)	С массивной текстурой (А1)	Преиму- щественно неколлектор	
					С миндалекаменной текстурой (А2)		
					С перлитовой текстурой (А3)		
				Вторая группа: Эффузивы с порфировой структурой (П)	С массивной текстурой (П1-1, П1-2, П1-3)		Возможный коллектор
					С полосчатой текстурой (П2)		
					С флюидальной текстурой (П3) ламинарной (П3-1) и «зигзагообразной» (П3-2)		
					С миндалекаменной текстурой (П4)		
				С перлитовой текстурой (П5)			
		Третья группа: Эффузивы в основной массе сферолитовые (С)	С сферолитами (С1-1, С1-2)	Преиму- щественно неколлектор			
			С сферолитами и литофизами (С2)				
Осадочно-вулканогенная	Осадочно- эффузивный	Лавобрекчия/ Кластолава	Четвёртая группа: Вулканокластиты (КЛ, КТ)	Литокластические с брекчиевой структурой (брекчия лавовая) сцементированная лавой (КЛ1)	Возможный коллектор		
				Литокластические с брекчиевой структурой (брекчия лавовая) с экзогенным заполнителем (КЛ2)			
	Осадочно- эксплзивный	Туфы		Витрокластические (КТ1)	Преиму- щественно неколлектор		
				Кристалло-витрокластические (КТ2)	Возможный коллектор		
				Кристалло-витролитокластические (КТ3)			
				Литокласто-кристалло-витрокластические (КТ4) с «фьямме»			
				Вулканогенно- осадочная	Эксплзивно- осадочный	Туффиты	Алевролиты с примесью пирокластического материала (Тал)
Аргиллиты алевритистые и алевролитовые с примесью пирокластического материала (Тар: Тар1, Тар2)							
ОВ, переслаивающиеся с тонкими прослоями пирокластики (Тов)							
Осадочная	Механогенный и биогенный	Озёрные?	Шестая группа: Осадочная (Ал, Арал, Ар, Аров)	Алевролит (Ал)			
				Чередование алевролитовых и глинистых прослоев (АрАл)			
				Аргиллит алевритистый и алевритовый (Ар)			
				Аргиллит с обилием ОВ (Аров)			
Метасомати- ческая	Вторичный	Метасоматиты	Седьмая группа: Метасоматиты (М)	Кальцито-глинисто-кварцевые породы (М1, М2, М2ов)			

Основу фактического материала по изучаемому месторождению, использованному в исследовании, составляют данные геофизических и геолого-технологических исследований, а также опробование в обсаженном стволе более чем 300 скважин. Из них 20 охарактеризованы керном с высоким процентом выноса из доюрского вулканогенно-осадочного комплекса с общим метражом более 1000 погонных метров. Количество изученных образцов превышает 960. Также учитываются показатели и результаты работы добывающих скважин. Сейсмический материал представлен обработанными данными 3D-сейсморазведки в виде амплитудного куба и куба вероятности коллектора, охватывающих территорию, покрывающую две трети изучаемого месторождения.

Разработка петрофизических методов разделения пород на коллекторы и неколлекторы

В контексте всего вышесказанного стандартные петрофизические задачи поиска способов выделения пород-коллекторов и разработки методов количественного определения их основных параметров, которые принято называть подсчётными, приобретают новый смысл. Так как методы геофизических исследований скважин не способны напрямую определять литотипы и петротипы, представленные в табл. 1, то предлагается сперва разработать методы разделения пород на коллекторы и неколлекторы, а затем соотнести с ними генетические типы и отражающие сейсмические границы.

Традиционно обоснование методов разделения пород на коллекторы и неколлекторы проводится с использованием двух видов критериев: петрофизического и статистического. В основе петрофизического – лежит построение зависимостей между коэффициентами динамической пористости и другими параметрами, определяемыми по результатам лабораторного исследования керна. При этом лабораторные замеры осуществляются на стандартных цилиндрических образцах, которые выпиливаются из наиболее плотных и крепких пород, поэтому они не в достаточной мере характеризуют неоднородность комплекса исследуемых отложений.

Статистический критерий является более универсальным, он применим для всех типов коллекторов вне зависимости от структуры пустотного пространства. В общепринятом варианте он базируется на анализе кумулятивных кривых (накопленной вероятности), построенных отдельно по интервалам коллектора и неколлектора, выделенных с использованием прямых признаков по ГИС, вызываемых проникновением фильтрата бурового раствора в пласт в проницаемых разностях пород, либо результатов определения профиля притока по данным промыслово-геофизических исследований.

По классификации коллекторы доюрского вулканогенно-осадочного комплекса относятся к смешанному типу, так как характеризуются наличием сразу нескольких видов пустотного пространства. На изучаемом месторождении петрофизические критерии определения коллектора дают достаточно высокое значение граничной пористости – 15,3% (и это на глубине более 3000 метров!). При этом, в ряде случаев после ГРП получены промышленные притоки из интервалов при гораздо меньших значениях пористости, что скорее всего, обусловлено влиянием особенностей структуры порового пространства породы.

Использование статического критерия в ДЮК в общепринятом варианте затруднено, так как в силу низкой проницаемости прямые качественные признаки коллектора по ГИС проявляются слабо или не проявляются вовсе, а привлечение профилей притока по данным ПГИ имеет свои ограничения, связанные с низкой чувствительностью приборов при малых дебитах и искажениями положений приточных интервалов после проведения ГРП. В этой связи необходимо изыскивать другие не менее эффективные варианты.

Применить статистический критерий для обоснования выделения коллектора позволили данные специальной обработки фотографий керна в ультрафиолетовом свете (УФС). Для этого посредством компьютерного алгоритма осуществлено их RGB¹-

¹ RGB – аббревиатура основных цветов: красный (Red), зелёный (Green), и синий (Blue). Разложение – означает определение вклада каждого из цветов.

разложение, по результатам которого сформирован цифровой образ люминесцентного свечения, затем на его основе рассчитана числовая кривая интенсивности свечения керна в ультрафиолетовом свете, диапазон значений которых приведён к интервалу от 0 до 1. Идентичность условий фотографирования и соблюдения сроков изучения керна в лаборатории позволяют выделять нефтенасыщенные породы с использованием постоянного порогового значения – 0.25, выбранного эмпирически, исходя из превышения над уровнем фонового свечения и проверки статистикой по работающим скважинам. Необходимо отметить, что таким образом можно идентифицировать только нефтенасыщенные коллекторы, а водонасыщенные интервалы следует исключать из выборки, чтобы избежать ошибок при определении критических значений для коллектора. Для этого фотографии колонок керна при RGB-анализе необходимо ограничить кровлей самого верхнего светящегося в УФС интервала и подошвой самого нижнего. Петрофизический планшет с примером результата RGB-разложения фотографий колонок керна представлен на [рис. 2а](#).

На [рис. 2б](#) представлены кумулятивные кривые для определения граничного значения коэффициента пористости статистическим способом по результатам анализа фотографий керна в УФ по всей имеющейся выборке, оно до десятых долей совпадает с таковым определенным петрофизическим способом. Следовательно, в целом по всей выборке продуктивные породы ведут себя как поровые коллекторы.

Для прояснения причин получения притоков из интервалов с $K_p < 15,3\%$ выполнено построение аналогичных кумулятивных кривых отдельно по каждой скважине. Оно показало широкий разброс по скважинам граничных значений пористости коллектора от 10,3% до 24%, это говорит о том, что полученная критическая величина в 15,3% представляет собой некое среднее значение по выборке, которое не является абсолютным нижним пределом коллектора. В этой связи логичным дальнейшим шагом исследований стало детальное изучение материалов по скважине с минимальным значением граничного значения коэффициента пористости.

На [рис. 2в](#) представлены кривые накопленной вероятности по керну из скважины, где выявлено свечение керна в УФС с минимальными значениями коэффициента пористости – 10,3%. Тестовая проверка на предмет возможного использования отсечки по пористости в 10,3% для выделения коллектора во всех скважинах показала, что результаты вступают в противоречие с данными анализа фотографий керна в УФС, а также с результатами ПГИ в остальных скважинах, поэтому это значение не подходит в качестве универсального. По-видимому, нижний абсолютный предел коллектора в вулканогенно-осадочных породах ДЮК определяется сочетанием сразу нескольких факторов, которые предстоит выяснить.

Методика выявления коллекторов по ГИС

Исходя из методов выявления, вулканогенно-осадочный ДЮК изучаемого месторождения содержит как минимум два типа коллекторов. Первый – условно «чисто поровый» коллектор: уверенно определяется по граничному значению коэффициента пористости $K_{p_{гр}} = 15,3\%$ как при помощи петрофизического критерия, так и посредством статистического. Второй характеризуется меньшим значением $K_{p_{гр}}$, но только одной величины граничной пористости для его выделения недостаточно.

На [рис. 3](#) представлена типичная ситуация, когда в кровельной части хорошего нефтенасыщенного пласта при всех прочих равных свойствах наблюдается значительное снижение удельного электрического сопротивления (УЭС). Этот эффект можно было бы объяснить наличием трещин, заполненных проводящей жидкостью, коей является пластовая вода, однако множество проведённых опробований скважин показало, что подобные аномалии не характеризуются повышенной проницаемостью, к которой трещиноватость должна приводить. Кроме того, выполненные исследования с помощью электрических пластовых имиджеров показали отсутствие значимых систем проводящих трещин. Сопоставление интервалов аномалий с описаниями керна позволило установить, что они наиболее часто проявляются в породах с брекчиевой структурой,

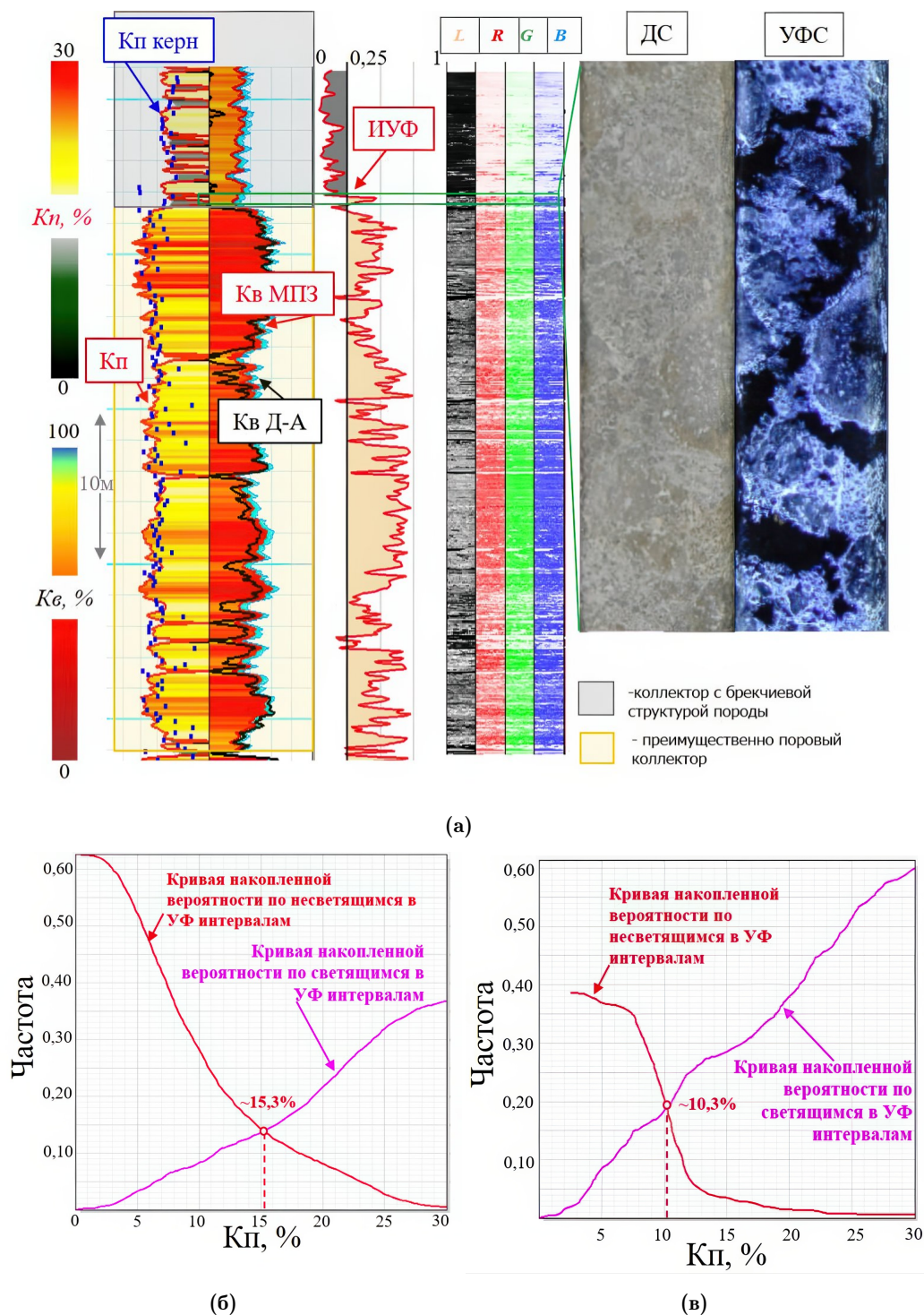


Рис. 2. Обоснование $K_{p,gr}$ статистическим способом по свечению ядра в УФ: (а) петрофизический планшет с результатами RGB-разложения фотографий колонок ядра: K_p – коэффициенты пористости; K_v – коэффициенты водонасыщенности (МПЗ – модель переходной зоны, Д – А – модель Дахнова – Арчи); RGB – разложение фотографий ядра в ультрафиолетовом свете по основным цветам (красный (Red), зелёный (Green), и синий (Blue)), L – цифровой образ люминесценции ядра в УФ; ИУФ – кривая интенсивности свечения ядра в УФС; (б) по всем имеющимся данным; (в) по одной скважине с минимальным значением $K_{p,gr}$.

что можно обосновать наличием как минимум двух сред: плохо проводящего электрический ток «матрикса» и «заполнителя», который может иметь более высокую электрическую проводимость. Также наличием брекчиевой структуры у породы мож-

но объяснить уменьшение величины граничной пористости относительно порогового значения в $K_p = 15,3\%$ у порового коллектора.

Таким образом, на выявлении эффекта снижения удельных электрических сопротивлений в нефтенасыщенном пласте можно построить методику выделения пород-коллекторов с брекчиевой структурой. Важно отметить, что аномалии снижения УЭС в нефтенасыщенном пласте вызваны прежде всего наличием второй среды («заполнителя»), электрическая проводимость которой значительно превышает таковую у основной («матрикса»), поэтому эффект снижения сопротивления имеет более общую природу, чем наличие у пород брекчиевой структуры.

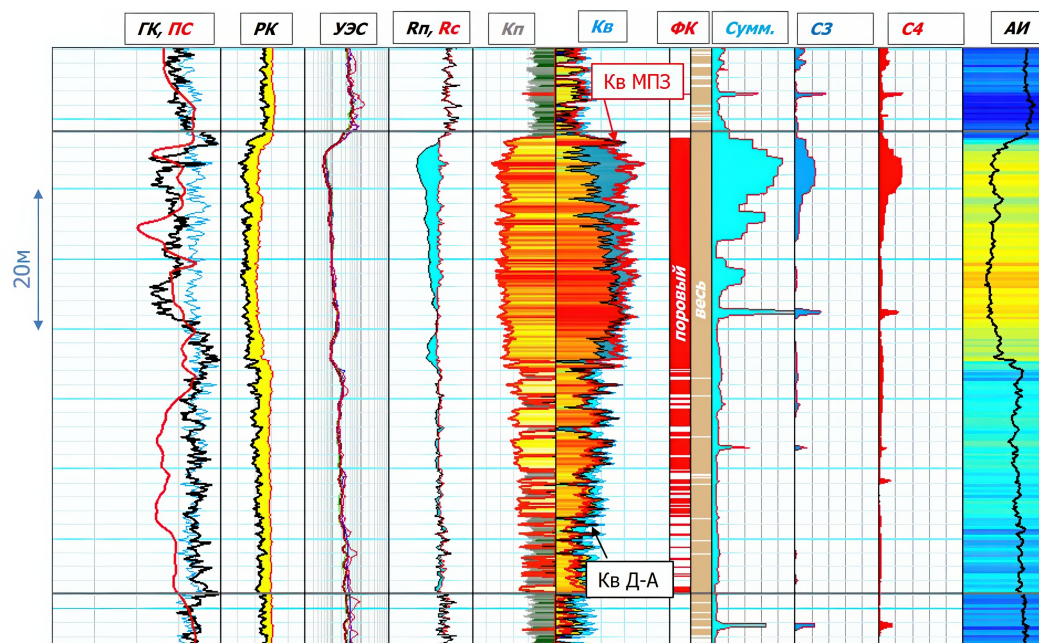


Рис. 3. Геофизический планшет с аномалией снижения УЭС в кровле нефтенасыщенного пласта: ГК – гамма метод; ПС – потенциал собственной поляризации; РК – радиоактивный каротаж (ГГКп и 2ННК); УЭС – многозондовый метод удельных электрических сопротивлений; Кп – коэффициенты пористости; Кв – коэффициенты водонасыщенности в масштабе от 1 до 0 (МПЗ – модель переходной зоны, Д – А – по модели Дахнова – Арчи); FK – флаги коллектора (по критерию для порового коллектора ($K_p > 15,3\%$); по всему коллектору); Сумм. – суммарные газопоказания при бурении; С3, С4 – газопоказания по нефтяным гомологам метана; АИ – акустический импеданс.

Для реализации описанной выше идеи необходимо разработать метод расчёта УЭС, на который наличие второй проводящей среды не влияет или влияет слабо. В настоящее время существует множество моделей, так называемой переходной зоны (МПЗ). Среди них можно указать: Брукса – Кори, Лямбда, Скелта – Харрисона, Тимура, J -функцию (модель Леверетта), КСПП (концепция связанности порового пространства). Все МПЗ представляют собой функцию, выражающую зависимость коэффициентов водонасыщенности (K_v) от высоты над зеркалом чистой воды (ЗЧВ) и фильтрационно-ёмкостных свойств. Основой для их построения служат капилляриметрические исследования керна. Так как стандартные цилиндрические образцы в основном выпиливаются из целостных участков керна, то МПЗ главным образом характеризуют насыщение монолитных блоков, то есть результаты их применения ведут себя как будто вторая высокопроводящая среда отсутствует.

Обе модели в чисто поровом коллекторе дают идентичные значения, а при наличии второй среды с более высокой электрической проводимостью водонасыщенность по электрической модели будет выше, что позволяет выделять на качественном уровне породы, для которых характерен этот эффект (см. рис. 3 трек K_v , масштаб обрат-

ный). Для удобства в работе водонасыщенность по МПЗ можно пересчитать с теми же самыми параметрами электрической модели в расчётные удельные электрические сопротивления и сравнивать их замеренными. На [рис. 3](#) (трек R_п, R_с) представлено сопоставление фактических (R_п) и синтетических (R_с) величин пластовых сопротивлений, по расхождению которых выделяются предполагаемые интервалы развития брекчий.

В подтверждение сделанного вывода на [рис. 2а](#) представлен планшет, на котором проиллюстрированы результаты определения коэффициентов насыщения двумя способам по модели переходной зоны, построенной по методике Брукса – Кори (К_в МПЗ) [Brooks and Corey, 1964] и по общепринятой модели Дахнова – Арчи с использованием данных по удельным электрическим сопротивлениям (К_в УЭС). Как видно из рисунка, в преимущественно поровом коллекторе с К_п > 20%, что превышает граничную величину, определённую петрофизическим способом в 15,3%, обе модели дают очень близкие значения, что нельзя сказать о верхней части пласта, где по электрической модели получаются сильно заниженные значения коэффициентов нефтенасыщенности, хотя нефтяное насыщение присутствует, что видно по фотографии колонки в УФС. В этой части пласта пористость составляет 11–13%, что заведомо ниже 15,3%, но выше минимальной отсечки в 10,3%. Существенное расхождение кривых является качественным признаком наличия второй проводящей среды, в данном случае она приурочена к породам с брекчиевой структурой, что видно по фотографиям в дневном и ультрафиолетовом свете. Таким образом, можно прийти к выводу, что для различных типов коллекторов необходимо применять свои индивидуальные количественные критерии.

Методика разделения пород на коллекторы и неколлекторы

Ранее по результатам проведённых работ по изучению вулканитов ДЮК сделано предположение об индивидуальных границах при выделении коллектора. Для «чисто поровых» разностей эта величина определена на основе принятого ранее петрофизического критерия – 15,3%, а привлечение статистического критерия на основе специальной обработки фотографий в ультрафиолетовом свете позволило выяснить, что в породах с брекчиевой структурой нижняя граница коллектора может уменьшаться до 10,3%. Вероятно, на величину пористости в брекчиях оказывает влияние места отбора образцов и значение 10,3%, тоже весьма условное, но тем не менее, оно обосновано в статистическом смысле на имеющемся фактическом материале.

Таким образом, в разрезах ДЮК изучаемого месторождения к коллекторам отнесены разности со следующими характеристиками: К_п ≥ 15,3% (преимущественно поровый коллектор); К_п ≥ 10,3% при условии наличия признака снижения сопротивления в нефтенасыщенном пласте.

Определение вероятности отнесения генетических типов к коллекторам и неколлекторам

В [табл. 1](#) по результатам литолого-петрографического изучения пород сделаны предположения о возможной принадлежности генетических типов к коллекторам, но они не цифрованы. На [рис. 4](#) представлены гистограммы вероятности коллектора и величин коэффициентов пористости по типам пород, построенные на основе лабораторных исследований керна и признака люминесцентного свечения колонок по данным специальной обработки фотографий. Наибольшую вероятность отнесения к коллектору имеют кластолавы (КЛ), они же имеют самые высокие значения коэффициентов пористости, в среднем превышающие 20%. Затем следуют вулканиты с перлитовой текстурой (П5), их средняя пористость составляет около 16%. Третьими по величине вероятности отнесения к коллектору идут вулканокластиты (КТ), с достаточно высокими значениями средней пористости около 20%. Интересная ситуация с вулканитами с порфировой структурой. Хотя массивные вулканиты и вулканиты с перлитовой структурой имеют приблизительно одинаковую вероятность принадлежности к кол-

лктору, разности с перлитовой структурой имеют гораздо более высокие значения коэффициентов пористости, достигающих в среднем 18% против 9% у массивных, что соответствует неколлекторам.

Руководствуясь количественными характеристиками по вероятности принадлежности генетического типа к коллектору или неколлектору, представления о строении разрезов и расположении элементов цикла извержения в опорных скважинах с высоким выносом керна можно переносить на другие скважины, где имеются результаты выделения интервалов коллекторов и оценки их ФЕС по данным геофизических исследований скважин. Таким образом, выполнив комплексный анализ скважинных данных, можно повысить достоверность межскважинной корреляции, но без привлечения данных сейсморазведки её нельзя считать достаточно обоснованной.

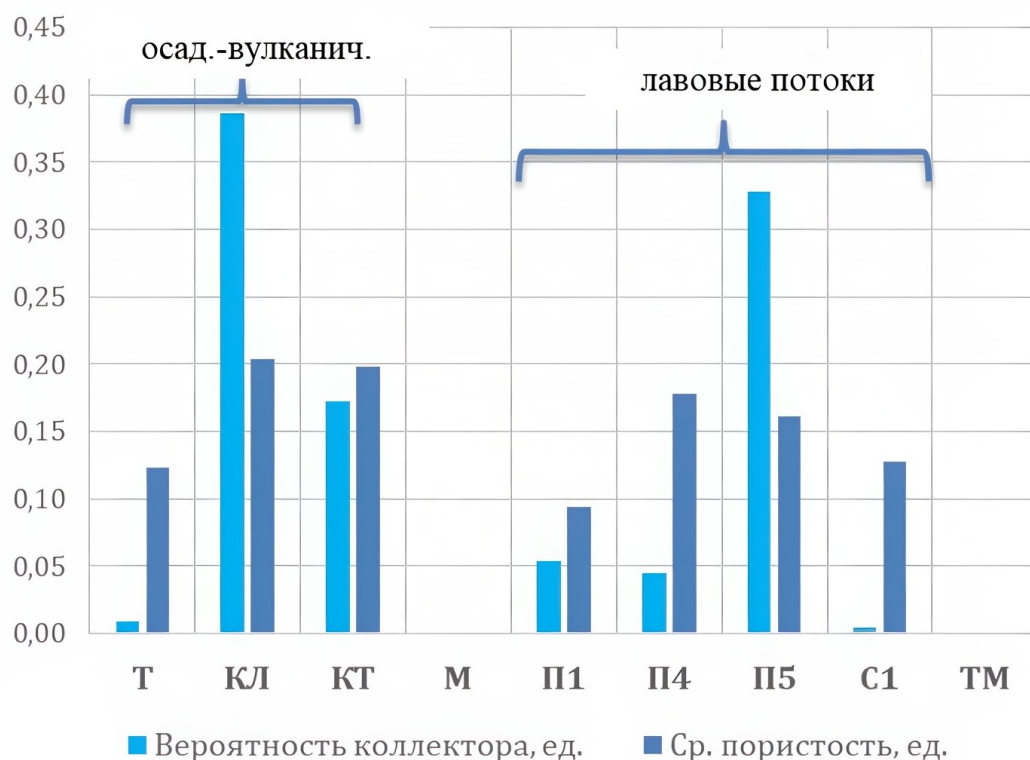


Рис. 4. Гистограммы вероятности коллектора и величин коэффициентов пористости по типам пород, построенные на основе лабораторных исследований керна и признака люминесцентного свечения по данным специальной обработки фотографий. Выборка состоит из 453 образцов. Аббревиатуры соответствуют петротипам из табл. 1.

Выделение природных резервуаров в доюрском комплексе по результатам интерпретации данных сейсморазведки

Подход, в основе которого лежит идентификация основных элементов циклов извержения за счёт выделения генетических типов вулканитов в опорных скважинах, охарактеризованных керном, и определения вероятности их нахождения во всех остальных, имеет большую долю неопределённости, обусловленную неоднозначностью прослеживания типов пород от скважины к скважине. Чтобы её снять следует использовать данные 3D-сейсморазведки.

Согласно стратиграфической привязке сейсмического волнового поля, яркие отрицательные отражения соответствуют кровле низкоплотных интервалов, представленных генетическими типами пород, относящихся к коллекторам с высокой пористостью: туфов, вулканокластиков, перлитовых и миндалекаменных лав (рис. 5). Яркие положительные отражения формируются при переходе к высокоплотным отложениям порфировых и сферолитовых лав, которые преимущественно являются флюидопора-

ми. Выделенные сейсмические пакки приурочены к кровле лавовых покровов. Для их выделения и прослеживания по площади привлечены дополнительные инструменты в виде аналога электрофаций, которые по форме кривых коэффициентов пористости и остаточной водонасыщенности позволяют проводить типизацию природных резервуаров (рис. 5). Для выделения прикровельных брекчий удобно использовать признак, обусловленный эффектом существенного снижения УЭС в кровельной части нефтенасыщенных пластов.

Выполнение совместной корреляции данных сейсморазведки и материалов скважин с опорой на петрографические и литологические исследования керн позволило отождествить различные элементы циклов извержения и построить поверхности предположительно единых геологических тел, приуроченных к интервалам коллекторов, окружённых породами с изолирующими свойствами.

На рис. 5. показан пример интерпретации сейсмических данных в интервале доюрского вулканогенно-осадочного комплекса, соотнесённого с принципиальной схемой крупного цикла извержения, представленного на рис. 1. Ядро цикла имеет самую большую толщину, его составляют породы-неколлекторы, представленные преимущественно порфировыми и сферолитовыми лавами, они сосредоточены в наиболее близкой к центру извержения и проксимальных частях. Пласты коллекторы в непосредственной близости к источнику извержения развиты слабо, они в основном представлены туфами и прикровельными брекчиями, имеют относительно небольшую мощность, которая обычно не превышает первые десятки метров. В проксимальной и дистальной частях цикла извержения породы-коллекторы могут быть развиты достаточно хорошо, их мощность обычно составляет несколько десятков, и может достигать 100 и даже более метров. Здесь коллекторы в основной массе представлены вулканокластитами (четвёртая генетическая группа).

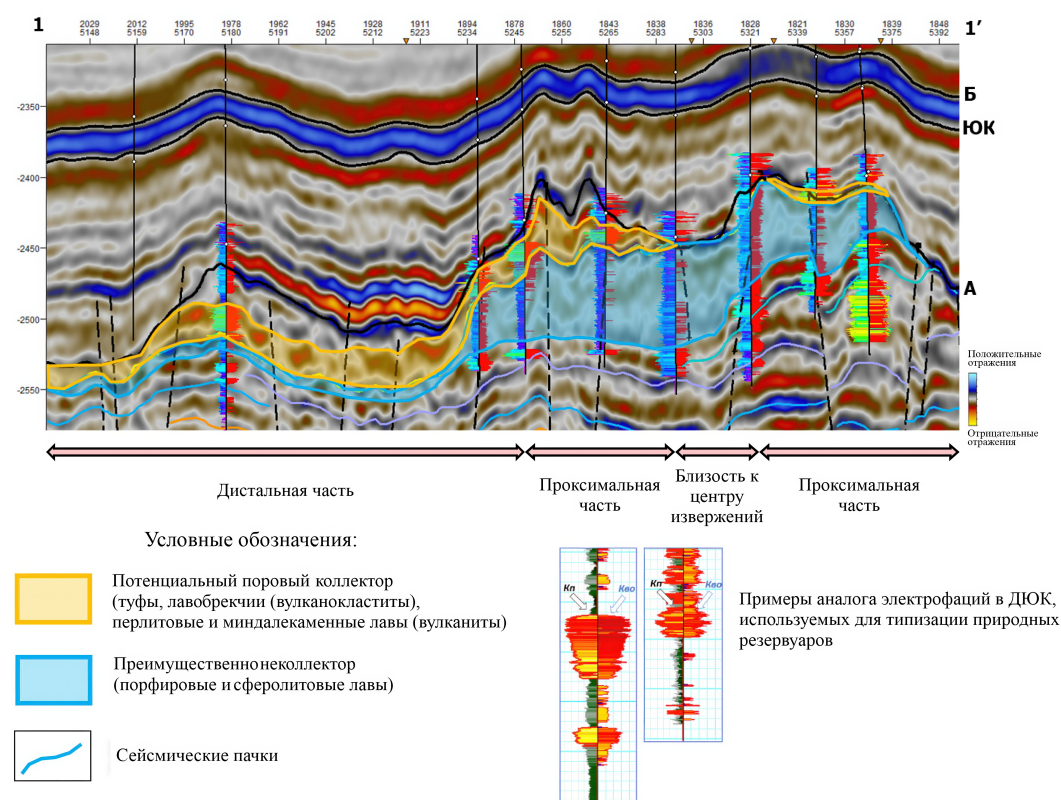


Рис. 5. Пример интерпретации сейсмических данных в интервале доюрского вулканогенно-осадочного комплекса по линии сейсмического разреза (рис. 6).

Результаты анализа скважинных и сейсмических материалов в пределах крупных циклов извержения позволяют объяснить причины и закономерности столь высокой

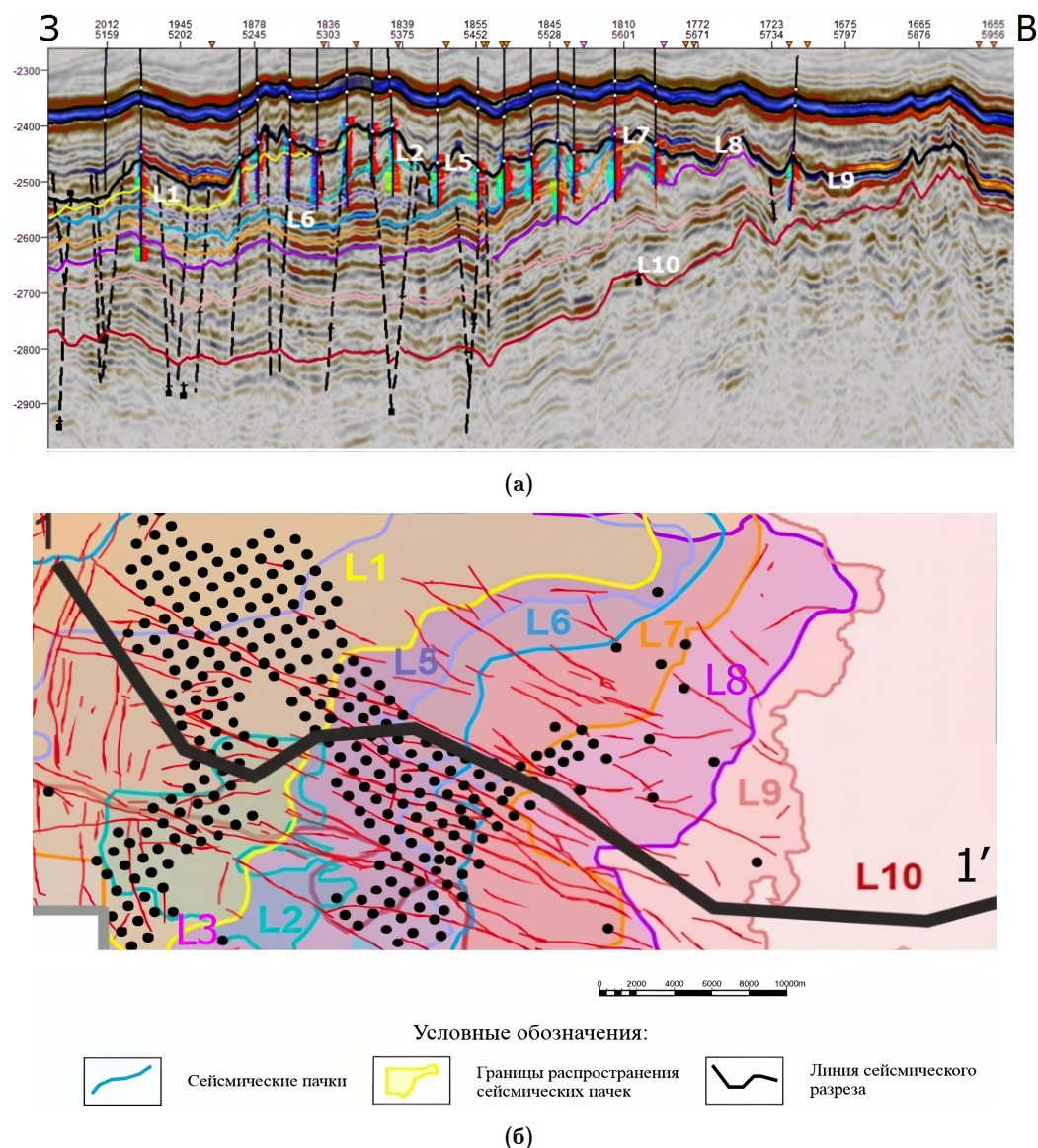


Рис. 6. Выделение природных резервуаров в доюрском комплексе: (а) сейсмическая корреляция пачек ДЮК, (б) схема распространения пачек по площади разреза 1-1'.

латеральной изменчивости разреза, которую можно условно связать с удалённостью от места излияния лавы. Вблизи центра извержений преобладают увеличенные общие толщины цикла, к краевым частям происходит их сокращение. Следовательно, на поднятиях общие мощности цикла будут повышенными, в пределах погруженных зон будет наблюдаться их сокращение. Что касается эффективных мощностей, то в пределах одного цикла они будут возрастать при удалении от центра извержения.

Под представленным на рис. 6 циклом можно наблюдать дистальную часть другого крупного цикла извержения. В практической работе обособленные тела коллектора, приуроченные к самостоятельным циклам извержения, удобно ассоциировать с пачками-линзами. Таким образом всего выделено десять пачек-линз, имеющих различную протяжённость по площади. Как видно из рис. 6 они покрывают изучаемую территорию как черепицы, последовательно налегая друг на друга. В восточной части прослеживается всего одна пачка, в наиболее разбуренной северо-западной – отмечается наложение сразу трёх пачек друг на друга (рис. 6б). Омоложение пачек в целом происходит с востока на запад.

Заключение

На основе петрогенетической типизации вулканитов кровли ДЮК, изложенной в статье [Ростовцева и др., 2025], разработана принципиальная схема «сонахождения» выделенных типов пород в разрезе одного крупного цикла извержения (рис. 1а), а также сделаны предположения о приуроченности пород-коллекторов и пород-неколлекторов к определенным элементам цикла (рис. 1б). Так как стандартный комплекс исследований в скважинах не позволяет определять петрогенетические типы пород, через которые идентифицируются элементы крупных циклов извержения, для целей снижения неопределённости при межскважинной корреляции определены их вероятности принадлежности к коллекторам и неколлекторам, для чего специально разработана методика их разделения по данным стандартного комплекса ГИС.

После чего выполнены работы по совместной корреляции данных сейсморазведки и материалов скважин с опорой на петрографические и литологические исследования кернa, которые позволили отождествить различные элементы циклов извержения с отражающими границами в сейсмическом волновом поле и построить поверхности условных геологических тел, которые можно связать с природными резервуарами.

Согласно результатам комплексного анализа широкого набора геолого-геофизических данных для изучаемого месторождения, расположенного в Западной Сибири, на котором пробурено более 300 скважин и ведётся эксплуатация, установлено, что доюрский вулканогенно-осадочный комплекс состоит из серии 10 пачек-линз, которые изучаемую территорию покрывают как черепицы. В восточной части прослеживается всего одна пачка, в наиболее разбуренной северо-западной – отмечается наложение сразу трёх пачек друг на друга (рис. 6б).

По итогам работ опробован алгоритм обработки геолого-геофизических данных ДЮК, который состоит из следующих этапов:

- изучение кернa для петрогенетической типизации вулканитов;
- выполнение интерпретации ГИС для целей разделения пород на коллекторы и неколлекторы;
- определение вероятности отнесения генетического типа к коллекторам или неколлекторам;
- проведение сводной корреляции сейсмических и скважинных данных с опорой на петрографические и литологические исследования кернa;
- выделение крупных циклов извержения и приуроченных к ним пачек-линз.

Приведённый перечень не является полным, так как для построения модели ДЮК, на основании которой можно планировать разработку и доразведку, необходимо иметь представления о гидродинамической связи между выделяемыми объектами. Ввиду высокой латеральной и вертикальной изменчивости разрезов, сильного влияния дизъюнктивно-блокового строения, эта тема является достаточно серьёзной и требует самостоятельного обсуждения. Тем не менее, проделанная работа позволяет сформулировать основные принципы эффективного исследования вулканогенно-осадочных комплексов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания №075-00439-25-00 Геофизического центра РАН, утверждённой Минобрнауки России.

Список литературы

- Немова В. Д., Ростовцева Ю. В., Бажукова Т. А. и др. Литогенетическая классификация как основа изучения сложнопостроенных вулканогенно-осадочных пород на примере отложений доюрского комплекса Западной Сибири // *Осадочные Породы* - 2024. — Москва : МАКС Пресс, 2024. — С. 84–86. — <https://doi.org/10.29003/m4304.978-5-317-07292-6>. — EDN: OSKXMR.
- Ростовцева Ю. В., Немова В. Д., Немченко Н. В. и др. Петрогенетическая типизация кислых вулканитов кровли нефтеносного доюрского комплекса месторождения в Елизаровском прогибе Западно-Сибирской плиты // *Russian Journal of Earth Sciences*. — 2025. — Т. 25. — ES4013. — <https://doi.org/10.2205/2025es001042>. — EDN: DMLDTW.

- Смирнова М. Е., Панченко И. В., Куликов П. Ю. и др. Строение, петротипы и коллекторские свойства измененных пермско-триасовых риодацитов в грабенах Фроловской мегавпадины Западной Сибири // Литология и полезные ископаемые. — 2024. — № 2. — С. 245—276. — <https://doi.org/10.31857/s0024497x24020065>.
- Хисамутдинова А. И., Алексеева П. А., Романчук А. Ф. и др. Строение и прогноз коллекторов доюрского комплекса на одном из участков Елизаровского прогиба Фроловской мегавпадины по данным сейсморазведки 3D в условиях отсутствия скважинной информации // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — Санкт-Петербург, 2021. — Т. 16, № 4. — С. 1—17. — https://doi.org/10.17353/2070-5379/38_2021.
- Хромова И. Ю., Кунин К. Н., Кашеев Д. Е. и др. Создание модели продуктивности отложений доюрского комплекса на одном из месторождений Западной Сибири // Российская нефтегазовая техническая конференция SPE. — Society of Petroleum Engineers, 2015. — С. 1—17. — <https://doi.org/10.2118/176622-ru>.
- Bonnichsen B. and Kauffman D. F. Physical features of rhyolite lava flows in the Snake River Plain volcanic province, southwestern Idaho // The Emplacement of Silicic Domes and Lava Flows. — Geological Society of America, 1987. — P. 119–145. — <https://doi.org/10.1130/spe212-p119>.
- Brooks R. H. and Corey A. T. Hydraulic Properties of Porous Media. — Fort Collins, Colorado : Colorado State University Hydrology Papers, 1964. — 37 p.

STUDY OF NATURAL RESERVOIRS IN THE VOLCANOGENIC-SEDIMENTARY TO PRE-JURASSIC COMPLEX OF THE WEST SIBERIAN OIL-GAS BASIN

A. D. Alexeev¹, V. D. Nemova^{1,2**}, E. E. Sapogova¹, Yu. V. Rostovtseva³,

¹LUKOIL-Engineering, Moscow, Russia

²Gubkin University, Moscow, Russia

³Geophysical Centre of the Russian Academy of Sciences (GC RAS), Moscow, Russia

****Correspondence to:** Varvara Nemova, Varvara.Nemova@lukoil.com

This article provides a thorough analysis of the potential for petroleum within the Pre-Jurassic Volcanic-Sedimentary Complex (PJVC) of the West Siberian Sedimentary Basin. Based on existing petrogenetic classifications of the complex's volcanic rocks, the article develops a model of major eruptive cycles, delineating the distribution of reservoir and non-reservoir rocks. To minimise uncertainty in inter-well correlation, the article proposes a methodology for rock discrimination using standard wireline logging suites. This incorporates fracture analysis to evaluate the likelihood of petrogenetic types belonging to the reservoir or non-reservoir categories. The integrated interpretation of seismic data, well logs, core petrography and lithology enabled cycle elements to be identified within the seismic field and surfaces to be constructed representing conditional geological bodies associated with natural reservoirs. Applying this workflow to a field in Western Siberia involving over 300 wells revealed that the PJVC comprises a series of ten lenticular packages exhibiting an imbricate lateral overlap pattern, ranging from a single package in the east to three superimposed packages in the northwest. Further investigation into the hydrodynamic connectivity between these units is required, however, as this is complicated by the high levels of lateral and vertical heterogeneity and faulting. This investigation is necessary in order to build a complete PJVC model that is suitable for field development planning and appraisal drilling. Nevertheless, this study establishes a foundational framework for the efficient investigation of similar rock complexes in the future.

Keywords: volcanics, method of rocks classification by well LOGs, reservoir properties, pre-Jurassic complex, West Siberian Plate.

Citation: Alexeev A. D., Nemova V. D., Sapogova E. E., Rostovtseva Yu. V. (2025), Study of Natural Reservoirs in the Volcanogenic-Sedimentary to Pre-Jurassic Complex of the West Siberian Oil-Gas Basin, *Russian Journal of Earth Sciences*, 25, ES4014, <https://doi.org/10.2205/2025ES001043>, EDN: KJDUFZ

RESEARCH ARTICLE

Received: June 2, 2025

Accepted: July 13, 2025

Published: September 30, 2025



© 2025. The Authors.

References

- Bonnichsen B. and Kauffman D. F. Physical features of rhyolite lava flows in the Snake River Plain volcanic province, southwestern Idaho // The Emplacement of Silicic Domes and Lava Flows. — Geological Society of America, 1987. — P. 119–145. — <https://doi.org/10.1130/spe212-p119>.
- Brooks R. H. and Corey A. T. Hydraulic Properties of Porous Media. — Fort Collins, Colorado : Colorado State University Hydrology Papers, 1964. — 37 p.

- Khisamutdinova A. I., Alekseeva P. A., Romanchuk A. F., et al. The Structure and Characteristics Forecast of the Pre-Jurassic's Reservoir Rocks on One of Studied Area of the Elizarov Trough of the Frolov Megadepression According to 3D Seismic Data in the Absence of Borehole Information // Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies. — Saint Petersburg, 2021. — Vol. 16, no. 4. — P. 1–17. — https://doi.org/10.17353/2070-5379/38_2021. — (In Russian).
- Khromova I. Yu., Kunin K. N., Kashcheev D. E., et al. Exploration and Oil Discovery in Pre-Jurassic Section of a Field in Western Siberia - A New Idea for the Mature Basin (Russian) // SPE Russian Petroleum Technology Conference. — Society of Petroleum Engineers, 2015. — P. 1–17. — <https://doi.org/10.2118/176622-ru>. — (In Russian).
- Nemova V. D., Rostovtseva Yu. V., Bazhukova T. A., et al. Lithogenetic Classification as a Basis for Studying Complex Volcanogenic-Sedimentary Rocks Using the Example of Pre-Jurassic Complex Deposits in Western Siberia // Sedimentary Rocks - 2024. — Moscow : MAKS Press, 2024. — P. 84–86. — <https://doi.org/10.29003/m4304.978-5-317-07292-6>. — EDN: [OSKXMR](#) ; (in Russian).
- Rostovtseva Yu. V., Nemova V. D., Nemchenko N. V., et al. Petrogenetic Typification of Acid Volcanics in the Roof of the Oil-Bearing Pre-Jurassic Complex of a Field in the Yelizarovsky Trough of the West Siberian Plate // Russian Journal of Earth Sciences. — 2025. — Vol. 25. — ES4013. — <https://doi.org/10.2205/2025es001042>. — EDN: [DMLDTW](#) ; (in Russian).
- Smirnova M. E., Panchenko I. V., Kulikov P. Yu., et al. Structure, Rock Types, and Reservoir Properties of Altered Permian-Triassic Rhyodacites in Grabens of the Frolov Megadepression in Western Siberia // Lithology and Mineral Resources. — 2024. — Vol. 59, no. 2. — P. 206–233. — <https://doi.org/10.31857/s0024497x24020065>.