

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2024.3.67-95>

EDN FCLRSD

УДК 550.834

**Опыт прогноза коллекторов в кислых эффузивах триаса  
южной периферии Западной Сибири по данным  
синхронной инверсии**

*Шахов А.В., Елишева О.В, Кондрашова Н.Н.,*

*Шилова Ю.В., Мельникова М.Н.*

*ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия*

**Applying simultaneous inversion data to predict net reservoirs in  
the Triassic acid volcanic rocks of the southern periphery  
of West Siberia**

*A.V. Shakhov, O.V. Elisheva, N.N. Kondrashova,*

*U.V. Shilova, M.N. Melnikova*

*Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen, Russia*

**E-mail: [ovelisheva@tnnc.rosneft.ru](mailto:ovelisheva@tnnc.rosneft.ru)**

**Аннотация.** Интерес к залежам углеводородов в интервале доюрского основания Западно-Сибирского бассейна не угасает, несмотря на то, что большинство открытий в этом интервале разреза до сих пор носит несистемный характер. Из-за сложности с прогнозом коллекторов и их локализацией в геопространстве, в большинстве случаев в промышленное освоение вводятся лишь единицы залежей. Для того чтобы решить эту проблему, специалисты используют разные подходы. В данной статье на основе комплексирования данных скважин и сейсмических материалов МОГТ 3D предложен один из подходов, который использован на Кирилкинской площади Уватского района юга Тюменской области, где в эффузивах триаса открыты залежи нефти. Для реализации подхода в ходе работ изучено общее строение доюрского интервала (ДЮК) и установлено, что в зоне развития эффузивных пород триаса, примыкающих к подошве осадочного чехла, интервал ДЮК делится на два уровня: нижний - это неизменные породы разного состава, и второй - это породы, подвергшиеся вторичному метасоматическому изменению. На основании изучения вещественного состава выделено шесть основных макропе-

тротипов, из которых пять – отнесены к коллекторам разного качества, и один – к неколлектору. В скважинах, где керновый материал отсутствовал, восстановление вещественного состава выполнялось с помощью нейросетевого моделирования на основе карт Кохонена. Для выделения коллекторов использован подход на основе комплексирования результатов записи профиля притока в интервалах перфорации, интерпретации кривых ГИС, данных промысловых геофизических исследований и данных электрического микросканера. Установленный в ходе работ порово-каверновый тип коллекторов в сильно измененных эффузивах пород триаса позволил использовать для прогноза коллекторов результаты синхронной инверсии. Результаты выполненных работ позволили локализовать в пределах Кирилкинской площади в интервале доюрского основания зоны развития коллекторов и построить сейсмогеологические модели открытых залежей для постановки их на Госбаланс.

**Ключевые слова:** коллекторы доюрского основания, нейросетевое моделирование карт Кохонена, синхронная инверсия и прогноз в ДЮК, петротипы доюрского основания Западно-Сибирского бассейна, технологии прогноза в доюрском основании

**Для цитирования:** Шахов А.В., Елишева О.В, Кондрашова Н.Н., Шилова Ю.В., Мельникова М.Н. Опыт прогноза коллекторов в кислых эффузивах триаса южной периферии Западной Сибири по данным синхронной инверсии // Нефтяная провинция.-2024.-№3(39).-С. 67-95. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2024.3.67-95>. - EDN FCLRSD

**Abstract.** The interest in hydrocarbon accumulations in the interval of the Pre-Jurassic basement of the West Siberian Basin is not fading, despite the fact that most of the discoveries in this interval are still unsystematic. In most cases, only a few reservoirs are put into commercial development, the reason being the difficulties related to reservoir prediction and their localization in geospatial space. Specialists solve the problem using different approaches. In this paper, one of the approaches is proposed based on the integration of well data and 3D CDP seismic materials. It was used on the Kirilkinsky Area of the Uvat District in the south of the Tyumen Region, where oil accumulations have been discovered in the volcanic rock of the Triassic. To implement the approach, the general structure of the Pre-Jurassic interval was studied as part of the work. In the zone of the volcanic rock development within which is adjacent to the bottom of the sedimentary cover, the interval of the Pre-Jurassic basement is divided into two levels: the lower one is the unchanged rocks of various composition, and the second one is the rocks that have undergone secondary metasomatic change. According to the material composition analysis, six main macro-petrotypes have been identified. Five of them are classified as reservoirs of varying properties, and one is classified as non-reservoir. In uncored wells, the material composition was restored using neural network modeling based on Kohonen maps. To interpret net reservoirs, an approach was used based on a comparison of the inflow profiles recorded in the perforated intervals, well logging interpretations, geophysical surveys, and electric microscanner data. The identified pore-vuggy type of reservoirs in the highly modified volcanic rock es made it possible to use the results of simultaneous inversion for net-reservoir prediction. The results of the study allowed to localize reservoir development zones within the Kirilkinsky

Area in the interval of the Pre-Jurassic basement and to build seismogeological models of existing discoveries in order to book the reserves.

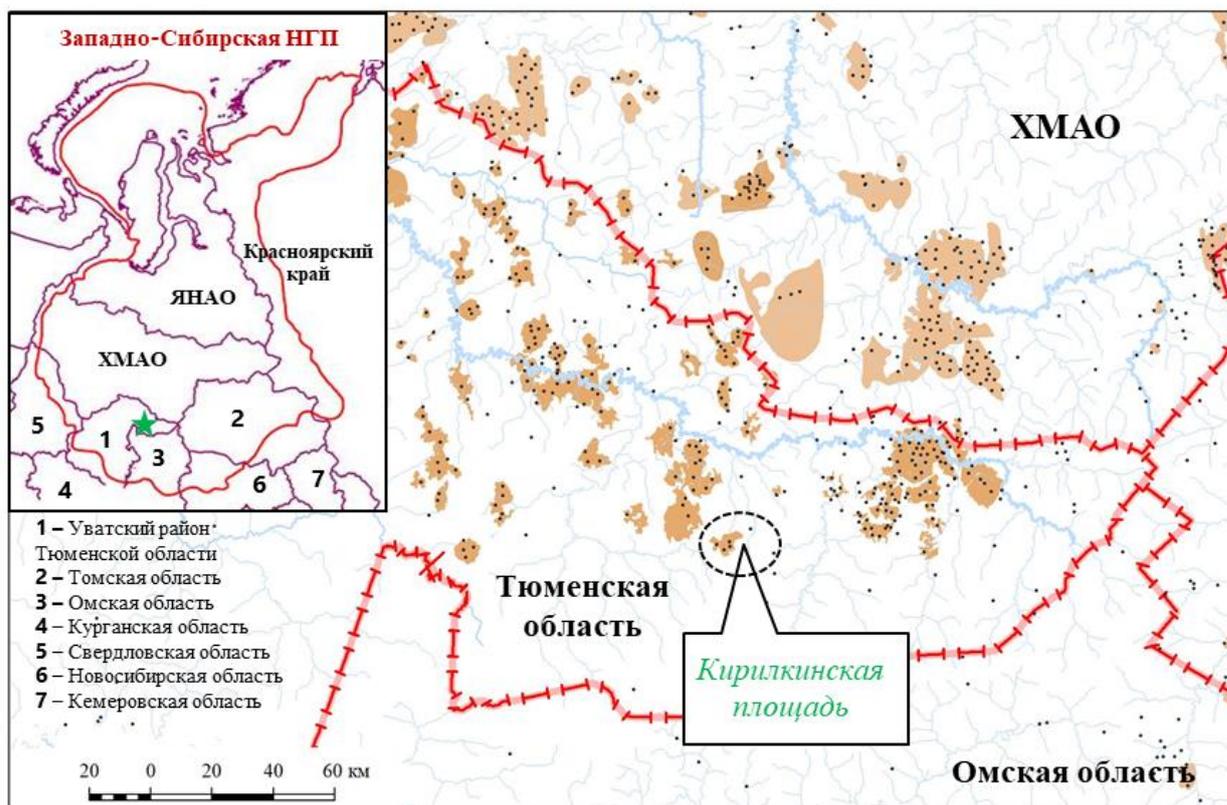
**Key words:** *net-reservoirs of the Pre-Jurassic basement, neural network modeling of the Kohonen map, simultaneous inversion and predictions in the Pre-Jurassic complex, petrotypes of the Pre-Jurassic basement of the West Siberian Basin, prediction technologies in the Pre-Jurassic basement*

**For citation:** A.V. Shakhov, O.V. Elisheva, N.N. Kondrashova, U.V. Shilova, M.N. Melnikova Опыт прогноза коллекторов в кислых effuzivakh triasa yuzhnoy periferii Zapadnoy Sibiri po dannym sinkhronnoy inversii [Applying simultaneous inversion data to predict net reservoirs in the Triassic acid volcanic rocks of the southern periphery of West Siberia]. Neftyanaya Provintsiya, No. 3(39), 2024. pp. 67-95. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2024.3.67-95>. EDN FCLRSD (in Russian)

## Введение

Доюрский комплекс пород (ДЮК) является одним из перспективных интервалов Западно-Сибирского бассейна (ЗСБ), в котором выявлены притоки нефти на территории Шаимского, Варьеганского, Красноленинского районов Тюменской области, Томской, Омской и Новосибирской областей [1]. Несмотря на это, изученность комплекса ДЮК глубоким бурением до сих пор остаётся крайне низкой, поэтому в основном этот интервал разреза исследуется по материалам сейсморазведки МОГТ-2D и МОГТ-3D.

На территории Уватского района юга Тюменской области доюрский комплекс пород до недавнего времени считался только потенциально нефтеносным интервалом, так как при бурении поисковых и разведочных скважин в керне периодически встречались признаки наличия УВ, но самих притоков нефти и газа при испытаниях получать не удавалось. Однако в 2013 году при опoisковании потенциально нефтеносных структур на Кирилкинской площади впервые на территории Уватского района из двух интервалов доюрского основания получены притоки углеводородов (УВ) (Рис. 1).



*Рис. 1. Обзорная карта района работ. Кирилкинская площадь*

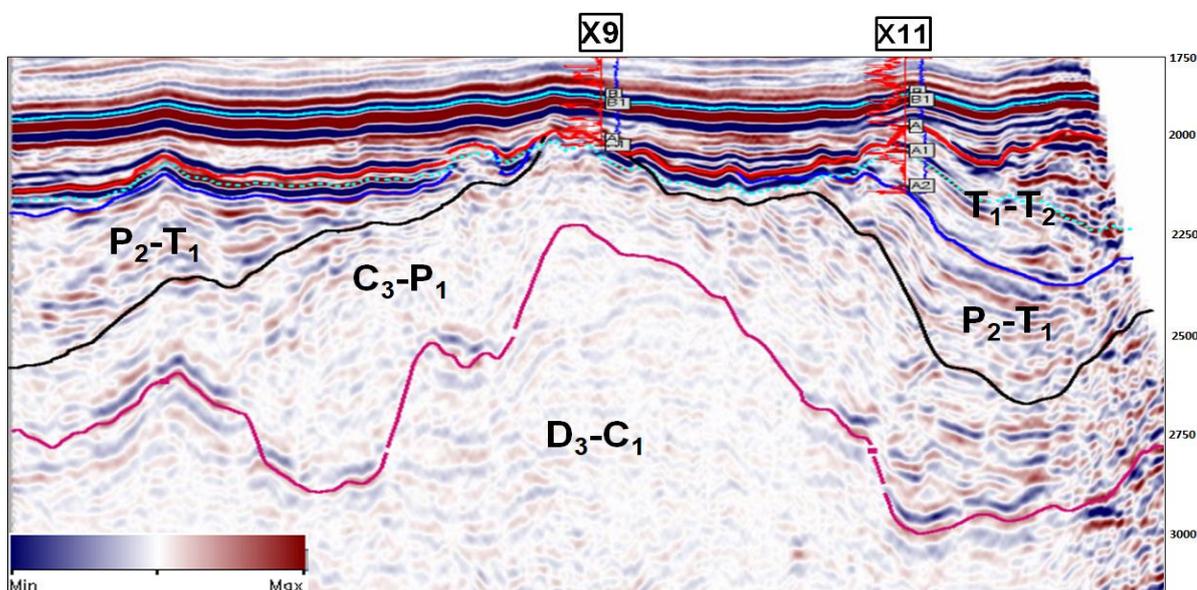
По данным кернового материала, скважины вскрыли эффузивные породы риолитовой формации триаса, часть из которых претерпела сильную гидротермально-метасоматическую переработку пород [2, 3]. На территории ЗСБ схожая формация триаса с доказанной продуктивностью выявлена на Рогожниковском месторождении (ХМАО-ЮГРА), где получены притоки УВ дебитом до  $7315 \text{ м}^3/\text{сут.}$  [4]. Отличие заключается в том, что на территории Кирилкинской площади залежи УВ выявлены в интервале ДЮК не только в зоне примыкания нефтеносных пластов осадочного чехла к выступу доюрского основания, как на Рогожниковском месторождении, но и в интервале, где коллекторы ДЮК не имеют контакта с отложениями осадочного чехла.

Для того чтобы залежи УВ, выявленные в ДЮК Кирилкинской площади, поставить на ГосБаланс, необходимо локализовать границы этих залежей, а для этого требуется спрогнозировать развитие коллекторов по пло-

щади и в разрезе. Решению данного вопроса и посвящена данная публикация.

### Общее строение по данным сейсморазведки МОГТ 3D (структурно-вещественные комплексы и морфология ДЮОК)

На территории Кирилкинской площади в интервале ДЮОК прослежены пять отражающих горизонтов (ОГ), из которых четыре маркируют границы определённых структурно-вещественных комплексов ( $D_3-C_2$ ;  $C_3-P_1$ ;  $P_2-T_1$ ;  $T_1-T_2$ ), и один прослежен как акустическая граница, которая соотносится с подошвой горизонта пород, подвергшихся изменениям (Рис. 2).



*Рис. 2. Фрагмент сейсмического разреза МОГТ 3D в интервале доюрского основания Кирилкинской площади*

С позиций формационного строения доюрского основания под подошву осадочного чехла в районе Кирилкинской площади выходят комплексы разного возраста и состава (кислые разности и породы основного состава), также изменённые породы, которые большинство специалистов относят к «корам выветривания» (КВ) экзогенного генезиса [2].

Авторы статьи выделяют этот интервал разреза как горизонт изменённых пород (ГИП), считая, что его формирование обусловлено не экзогенными условиями формирования, как считалось долгие годы, а связано с

гидротермально-метасоматической проработкой магматических пород в определенные геотектонические циклы [2, 6].

По результатам сейсмической корреляции для территории Кирилкинской площади построена серия карт изопахит перечисленных выше структурно-вещественных комплексов, что позволило изучить их современную морфологию. Установлено, что в современном структурном плане двух нижних комплексов ( $D_3-C_1$  и  $C_3-P_1$ ), которые были закартированы по сейсмическим материалам, выделяется крупная кольцевая структура, предположительно вулканической природы, имеющей зонально-кольцевое строение, внешний контур которой представляет собой прогиб, заполненный эффузивными породами триаса. Территориально в зону этого прогиба попадает большая часть скважин, пробуренных на Кирилкинской площади, вскрывающих потенциально нефтеносные породы ДЮК (Рис. 3).

Из всех структурно-вещественных комплексов ДЮК, закартированных на Кирилкинской площади, основной интерес для прогноза коллекторов представляет интервал ГИП пород кислой формации триаса, который хорошо выделяется на материалах акустической инверсии сейсмических данных пониженными значениями (Рис. 4).

Анализ керновых данных показал, что интервал ГИП на территории Кирилкинской площади по степени изменённости пород делится на две части ( $ГИП_2$  и  $ГИП_1$ ). В нижней части зоны ( $ГИП_2$ ) породы триасовой формации имеют слабую преобразованность. Однако иногда они содержат слабопроницаемые коллекторы. В верхней части зоны ( $ГИП_1$ ) породы триаса имеют вторичные изменения разной интенсивности. Именно такие породы чаще всего контактируют с отложениями осадочного чехла и по акустическим свойствам в волновом сейсмическом поле схожи с ними [2].

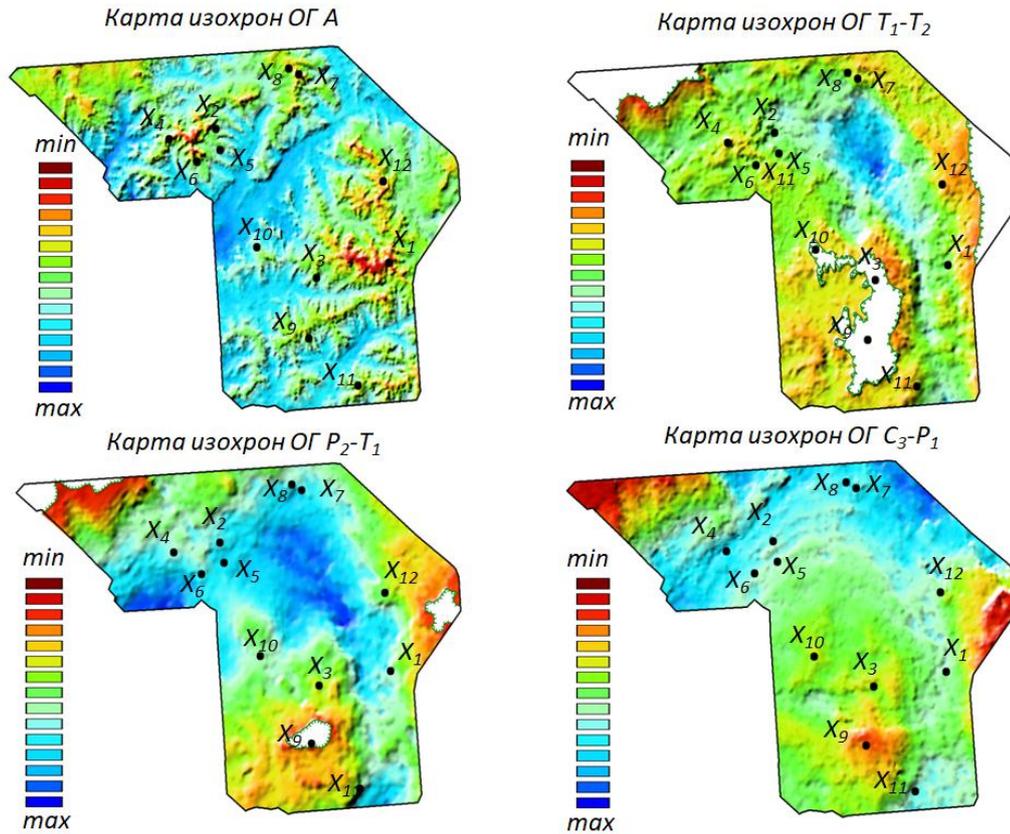


Рис. 3. Серия карт изопахит структурно-вещественных комплексов ДЮК, выделенных по материалам МОГТ 3D (Кирилкинская площадь)

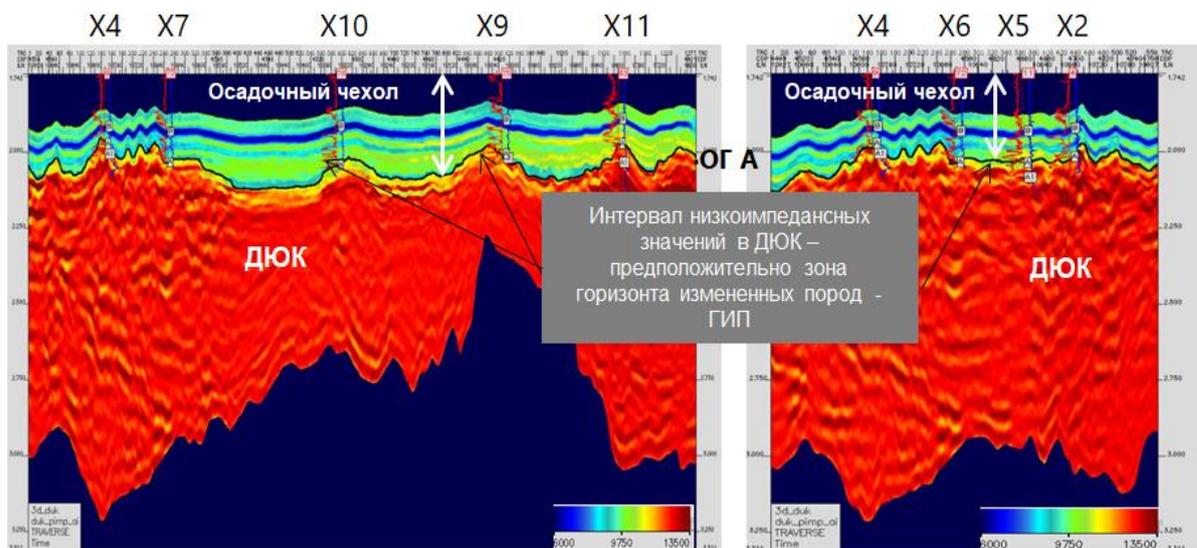


Рис. 4. Пример проявления пород ГИП в значениях акустического импеданса

### Типы резервуаров ДЮК на «Уватском проекте»

Многолетняя практика ГРП на площадях ЗСБ показывает, что большая часть залежей УВ в интервале ДЮК, выявленных на сегодняшний день, в

основном приурочена к зоне контакта пластов осадочного чехла к выступам доюрского основания. Из трёх типов, приведенных на рис. 5, на территории Уватского района юга Тюменской области чаще всего встречаются резервуары типа Б и С. Особенность первых заключается в том, что они приурочены к зонам выступов доюрского основания и контактируют непосредственно с отложениями мезозойского осадочного чехла, содержащими залежи УВ, другие - представлены резервуарами, так называемых «внутренних» горизонтов.

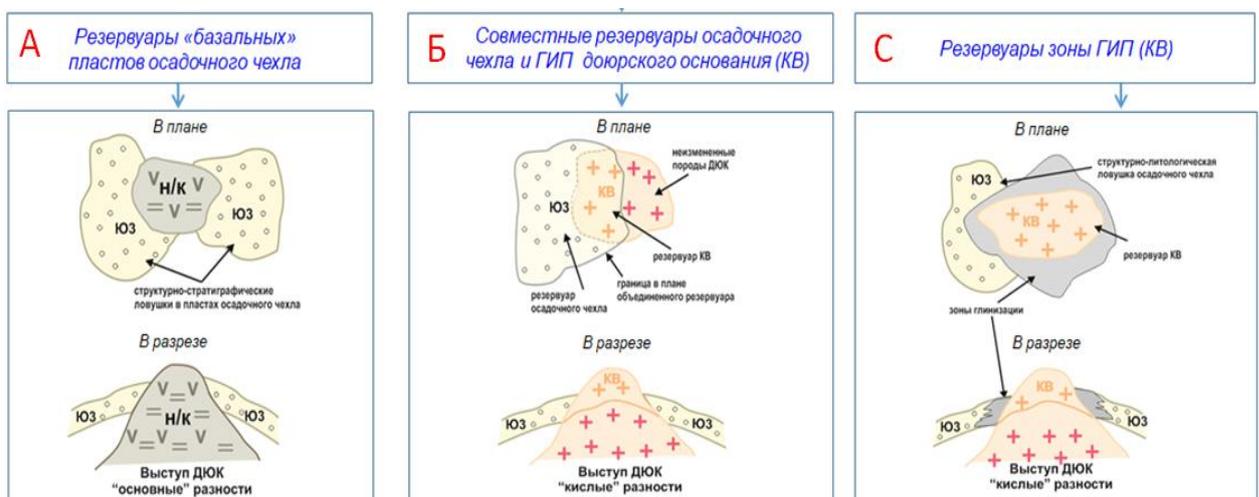


Рис. 5. Типы резервуаров в интервале ДЮК Кирилкинской площади

### Вещественный состав доюрского комплекса пород на территории Кирилкинской площади

Согласно представлению о типовом разрезе, сделанном на основании описания пород по керну и микроописанию шлифов, с привлечением данных по возрастным датировкам, интервал доюрского основания в пределах Кирилкинской площади представлен эффузивными магматическими породами кислого состава, часть из которых представлена породами, претерпевшими гидротермально-метасоматические изменения.

По результатам анализа керновых данных на описываемой территории на генетической основе выделено 22 петротипа, которые, несмотря на петрографическую однотипность пород (эффузивные кислые разности), отличаются друг от друга макропризнаками – цветом пород, признаками

вторичных изменений (карбонатизацией, хлоритизацией и т.д.), а также особенностями текстур и структур пород [5].

Для прогноза коллекторов количество петротипов сокращено до шести крупных макротипов: гранофиры, риолиты, туфы риолитов, трахириолиты, туфы трахириолитов и базальты (Табл.1).

Таблица 1

*Характеристика ФЕС петротипов ДЮК Кирилкинской площади по керну и ГИС [5]*

№	Литотип	Статистика	керн		ГИС	керн		ГИС
			Кп, %	Кол. опр	Кп, %	Кпр, *10 <sup>-3</sup> мкм <sup>2</sup>	Кол. опр	Кпр, *10 <sup>-3</sup> мкм <sup>2</sup>
1	Гранофир	мин	2,3	64	5,8	0,10	54	0,001
		макс	16,8		13,0			0,217
2	Трахириолит	мин	5,2	70	3,7	0,1	49	0,001
		макс	14,0		16,1			1,238
3	Туф трахириолита	мин	4,4	51	1,1	0,1	42	0,001
		макс	12,4		14,5			0,514
4	Риолит	мин	0,7	35	11,1	0,2	33	0,078
		макс	18,8		20,7			17,332
5	Туф риолита	мин	12,6	7	7,4	0,1	7	0,010
		макс	15,6		11,0			0,100
6	Базальт	мин		4			3	
		макс						

**Петротип «гранофир»** - магматические породы кислого ряда, с высоким содержанием силикатов (до 63–78 %). По химическому составу похожи на трахириолиты и риолиты, но отличаются от них условиями формирования. Породы, обладая зернистой структурой, чаще всего формируют порово-каверновый тип коллектора, обладающего при сильной гидротермальной проработке достаточно высокими ёмкостными свойствами. Однако из-за изолированности большинства каверн и пор на фоне низкой трещиноватости пород, фильтрационно-ёмкостные свойства коллекторов (относительно других «петротипов» Кирилкинской площади) являются одними из самых низких (Рис. 6А).

***Петротип «трахириолит»*** - породы являются эффузивными аналогами субщелочных гранитов и представляют собой образования умеренно-щелочного ряда. В отличие от риолитов содержат повышенное количество полевых шпатов (ПШ) и плагиоклазов (PL), до 40-45 % от общего объёма породы, содержание кварца (Q) не превышает 55-60 %. По макроописанию скважин на территории Кирилкинской площади трахириолиты представляют трещиноватые и карбонатизированные породы (Рис. 6Б).

***Петротип «туф трахириолита»*** - по петрохимическому составу являются пирокластическими аналогами трахириолитов. Несмотря на схожесть петросостава, в керне скважин породы отличаются цветом, более пористой текстурой и скрытокристаллической структурой. Основной объём пустотного пространства пород представлен внутризерновыми порами (0,05 мм) выщелоченных полевых шпатов (Рис. 6С).

***Петротип «риолит»*** - породы относятся к классу кислых магматических эффузивных пород. Основная масса – вулканическое стекло (90 % кремнезёма  $\text{SiO}_2$  и 10 % порфиновые вкрапленники Q, ПШ и PL). Особенностью риолитов является наличие в керне ярко выраженной флюидалльной структуры, свидетельствующей о формировании пород в виде потоков лавы. В скважинах Кирилкинской площади риолиты представлены породами с флюидалльной структурой с разнонаправленной системой мелких трещин, залеченных вторичным  $\text{SiO}_2$  (Рис. 6Д).

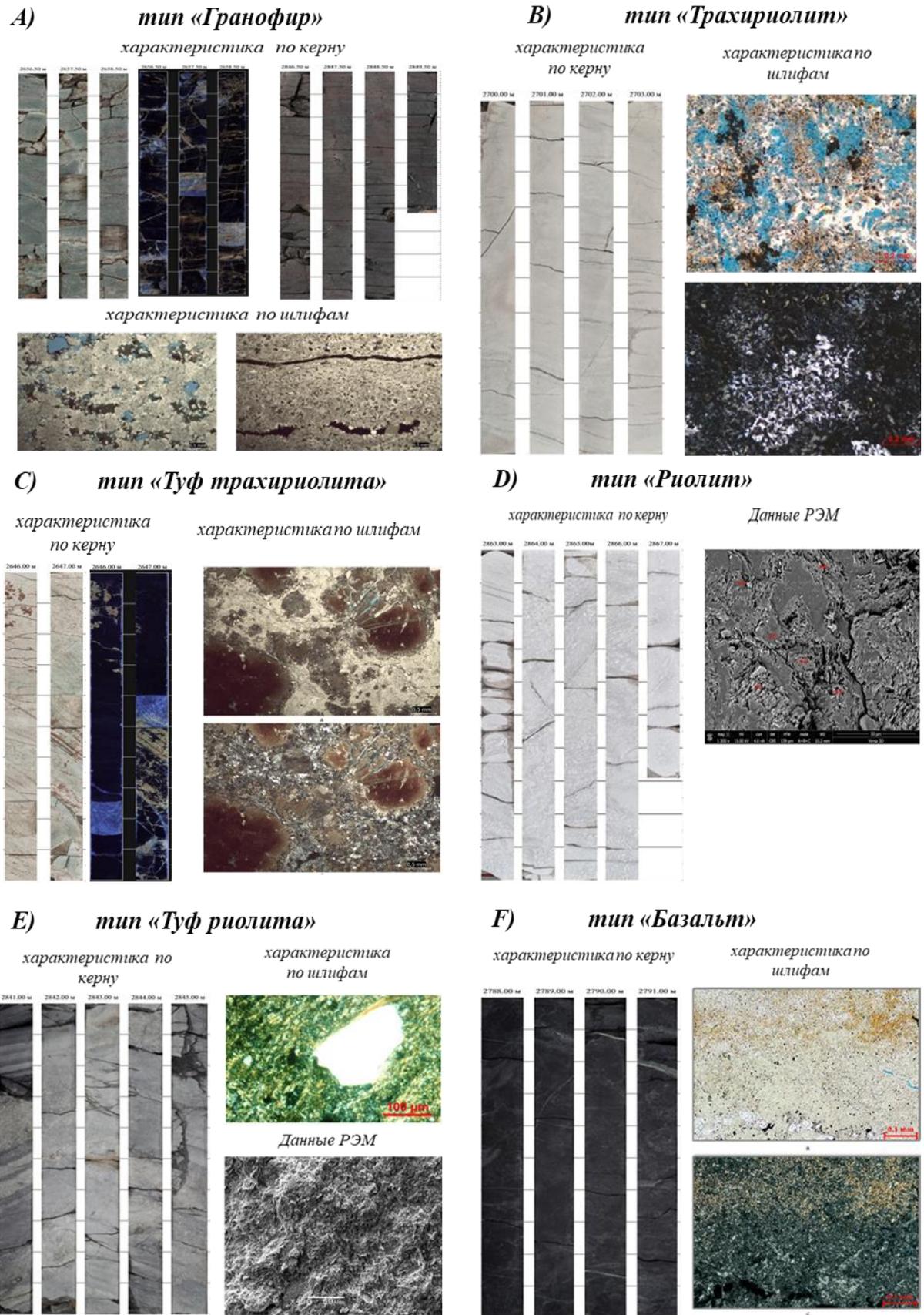


Рис. 6. Макропетротипы ДЮК Кирилкинской площади

**Петротип «туф риолита»** - породы по петрохимическому составу являются пирокластическими аналогами риолитов. На Кирилкинской площади туфы риолитов представлены литокластической породой, сильно хлоритизированной, с включениями зёрен окисленного пирита, с редкими включениями пористых обломков пемзы и игнимбритов с рваными краями (игнимбриты часто пористые и каолинитизированные) (Рис. 6Е).

**Петротип «базальт»** - магматические породы основного состава, со скрытокристаллической, порфировой структурой. Основная масса пород и вкрапленники имеют однотипный состав, представлены конгломератом «темноцветов» (оливином, клинопироксеном) и плагиоклазов. Текстура плотная, миндалекаменная, миндалины заполнены полевыми шпатами, кальцитом и хлоритом. Учитывая исходный минерально-петрохимический состав базальтов, даже при наличии в них вторичных изменений, согласно имеющимся ФЕС на Кирилкинской площади, эти породы отнесены к коллекторам (Рис. 6Ж).

### **Восстановление петротипов ДЮК с помощью ГИС и нейросетевого моделирования (карты Кохонена)**

Одним из широко применяемых алгоритмов нейронных сетей, которые используют для выявления многомерных неявных связей между геолого-геофизическими данными, являются *самоорганизующиеся карты Кохонена* [6]. Особенность карт Кохонена заключается в том, что они могут классифицировать входные данные на кластеры и визуально отображать многомерные данные в двумерной плоскости, распределяя векторы близких признаков в соседние ячейки, показывая в общем виде графически схожесть объектов.

На территории Кирилкинской площади нейросетевое моделирование выполнялось в модуле IPSOM ПО Techlog компании Schlumbergerd в режиме «без учителя». «Входным» слоем служили данные методов ГИС –

ГК, НКТ, ГК-П, ДТР, СГК-К, СГК-У, СГК-Тн и акустический импеданс AI. В качестве «выходного» слоя использовано количество петротипов, выделенных по керновому материалу. Кластеризация данных выполнялась методом Ward method, основанным на минимизации внутриклассовой дисперсии.

Всего в моделировании участвовало 12 скважин, из которых на 7 (с максимальной мощностью петротипа и полным комплексом ГИС) выполнялось «обучение». На 5 скважинах, которые имеют более-менее полный набор данных по керновому материалу, но ограниченный комплекс каротажных кривых, проведено «тестирование» моделей петротипов.

Для того чтобы выполнить нейросетевое моделирование, на основе кластеризации параметров ГИС входного слоя были сформированы матрицы векторных диаграмм для каждого выделенного петротипа (Рис. 7 А).

Согласно карте Кохонена (Рис. 7 Б), для прогноза таких петротипов как «гранофир» и «трахириолит» наибольший вес в кластер каждого петротипа внесли такие параметры как ГПП-К, AI и общая радиоактивность (GK) пород. Для прогноза петротипа «базальт», помимо упомянутых ГПП-К и AI, важный вклад внёс показатель WS (водородосодержание), в то время как для петротипа «риолит» дополнительный вес в обособление кластера внесли параметры кривых радиоактивности пород по калию (СГК-К) и урану (СГК-У).

В процессе моделирования каждой векторной диаграмме был присвоен преобладающий индекс. По разрезу интервала с шагом 0,2 м рассчитана вероятность встречи каждого из шести индексов в точках глубин в пределах каждого петротипа по ГИС, подтверждённого керновым материалом.

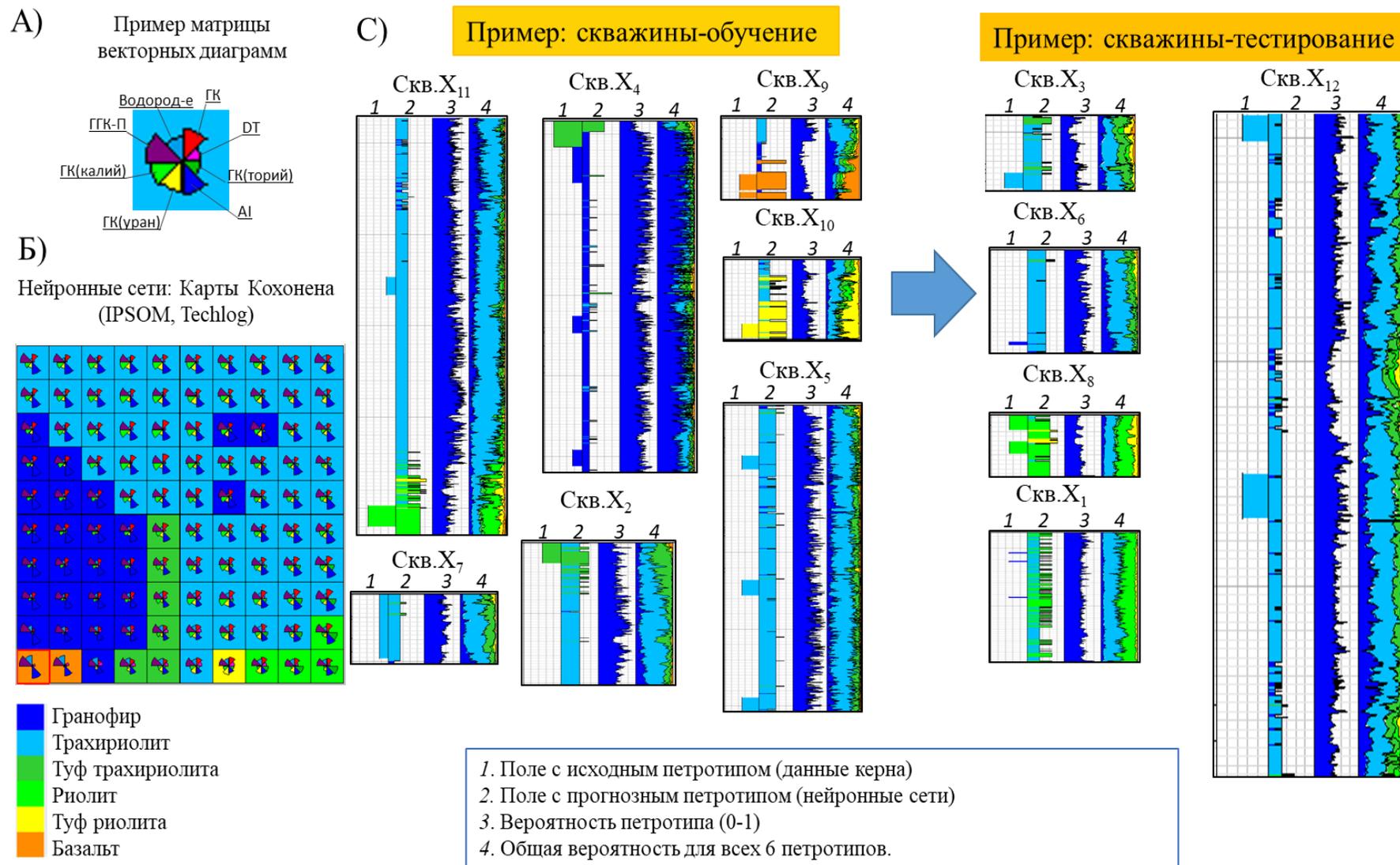


Рис. 7. Нейросетевое моделирование петротипов ДЮК на Кирилкинской площади на основе карт Кохонена [6]

Установлено, что большая часть прогнозируемых петротипов имеет близкие геофизические характеристики, однако при сочетании отдельных методов ГИС, часто встречаемые в разрезе петротипы хорошо выделяются в самостоятельные кластеры.

### **Выделение коллекторов ДЮК по данным керна и ГИС**

Выделение коллекторов ДЮК на территории Кирилкинской площади основывалось на комплексной интерпретации материалов керна, ГИС и результатов испытания. Традиционный комплекс ГИС, выполненный в скважинах Кирилкинской площади, не позволил выделить коллекторы, т.к. оказались не выражены прямые и косвенные качественные признаки.

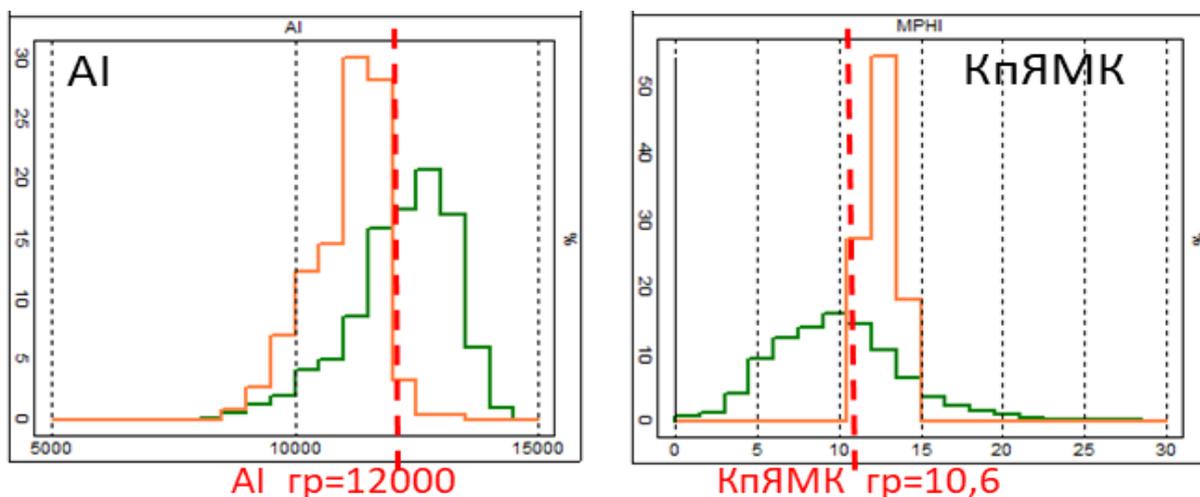
Установлено, что в породах ДЮК в скважинах напротив интервалов коллекторов практически не формируются глинистые корки, отсутствует приращение на микро-зондах и не фиксируется изменение сопротивления на разноглубинных зондах индукционного каротажа [7].

Для выделения коллекторов ДЮК использован подход на основе комплексирования результатов записи профиля притока в интервалах перфорации, интерпретацию кривых ЯМК, АКШ, ГГК-П, ЭМ и данные промысловых геофизических исследований (ПГИ) – определение интервалов притока. Против «рабочих» интервалов анализировались характеристики, полученные при записи различных методов и их производные [8].

Поскольку в рамках работ прогноз коллекторов ДЮК предполагался по данным синхронной инверсии, для получения количественного критерия выделения коллекторов использованы акустический импеданс (AI) и пористость по ЯМК [9].

Использование интервального времени продольной волны и плотности для определения граничных значений для выделения коллектора показало существенное перекрытие их значений для пород коллектора и неколектора [10].

На рис. 8 приведены сопоставления двух массивов данных: показания акустического импеданса (а) и пористости по ЯМК (б) в интервалах «работающих» толщин и показания этих кривых в остальном изучаемом интервале. Полученные величины принимались как граничные значения для выделения потенциальных коллекторов в разрезе пород ДЮК.



**Рис. 8. Определение граничных значений геофизических параметров для определения границы коллектор/неколлектор по данным профиля притока [11]**

Выделенные коллекторы коррелируются с косвенными качественными критериями: индекс свободного флюида  $> 0$  по данным ЯМК (колонка №6); расхождение объема остаточной воды и пористости, определенных по ЯМК (колонка №12); низкие значения плотности пород и увеличение водородосодержания относительно вмещающих пород (колонки №3 и №5 рис. 9).

Одним из методов выделения трещин является электрический микросканер (ЭМС) [12]. На одном из интервалов, приведенных на рис. 9, выделяется область открытых трещин по данным ЭМС (колонка №10), которая коррелируется с увеличением анизотропии среды (колонка №13). Также в интервале отмечается превышение интервального времени волны Стоунли относительно модельной, что указывает на проникновение фильтра бурового раствора (ФБР) в пласт [13, 14].



Другие области с открытыми трещинами по данным ЭМС слабо коррелируются с выделенным коллектором, что может свидетельствовать о доминировании в породах пор выщелачивания.

### **Расчет синхронной инверсии по данным МОГТ 3D под задачи прогноза коллекторов в ДЮК**

Как показывает многолетняя практика ГРП на территории ЗСБ, для прогноза коллекторов в интервале доюрского основания специалисты нефтегазовых компаний используют разные подходы.

Одни используют технологии на основе анализа геометрических атрибутов волнового сейсмического поля – когерентности, спектрального разложения сейсмических полей, как и для резервуаров осадочного чехла [16]. Другие используют технологии на основе анализа анизотропии пород (например, методика AVAZ [16]). Третьи применяют технологии на основе миграции дуплексных волн (МДВ) [17]. В данной работе приведен пример использования для прогноза коллекторов ДЮК технологии сейсмической инверсии [18].

На первом этапе выполнен анализ возможности разделения пород в поле упругих параметров с привлечением каротажных материалов. На основе кроссплотов распределения упругих параметров, построенных по скважинным данным для ранее выделенных литотипов («коллектор» / «неколлектор»), сделано заключение, что литотип «неколлектор» с определенной долей перекрытия выделяется в поле упругих параметров P- и S-импедансов и соотношения скоростей продольных и поперечных волн ( $V_p/V_s$ ), как в ГИС, так и в сейсмическом масштабах.

Результаты этого этапа позволили сделать вывод о возможности использования инверсионных преобразований для выделения интервалов эффективных толщин в ДЮК Кирилкинской площади.

Весь технологический процесс выполнения инверсионных преобразований предполагает разделение на стадии согласно видам задач и включает в себя следующие этапы:

1. Выбор диапазонов угловых сумм.
2. Одномерное геоакустическое моделирование и оценка формы сейсмического импульса.
3. Создание каркасной низкочастотной фоновой модели.
4. Тестирование параметров инверсии сейсмических трасс.
5. Расчет инверсии и оценка качества результатов инверсии.

Количество угловых сумм и их угловые диапазоны выбирались на основе анализа зависимости распределения амплитуд от углов прихода сейсмического сигнала и распределения кратности по каждой угловой сумме. В результате определено, что наиболее оптимальный результат получен с использованием шести угловых сумм, диапазоны углов которых составляют  $0^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ,  $16^{\circ}$ - $26^{\circ}$ ,  $26^{\circ}$ - $34^{\circ}$ ,  $32^{\circ}$ - $40^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ - $48^{\circ}$ ,  $46^{\circ}$ - $58^{\circ}$ .

Одномерное геоакустическое моделирование выполнено по 10 скважинам для каждой частично-кратной угловой суммы с использованием откорректированных петрофизических данных. В точке каждой скважины и для каждой угловой суммы выполнена оценка импульсов детерминистическим методом (амплитудного, частотного и фазового спектров). В результате, для интервала целевых горизонтов ДЮК коэффициенты корреляции сейсмических и синтетических трасс составили 0,7-0,9.

Так как в силу ограничений возможности регистрации низких частот сейсмического сигнала стандартной аппаратурой, в сейсмическом поле отсутствует низкочастотная составляющая (0-10 Гц), для восполнения этих данных по средствам интерполяции и фильтрации скважинных материалов строились толстослоистые модели петроупругих параметров, распространение которых контролировалось структурным каркасом, включающим в себя отражающие горизонты Б, Г, А и СЗ-Р1.

Подбор параметров и расчет синхронной инверсии выполнен в интервале целевых пластов. В результате количественной оценки результатов получены достаточно высокие коэффициенты корреляции между восстановленными и рассчитанными по данным ГИС значениями P- и S-импедансов (0,74 и 0,76), что в дальнейшем позволяет использовать эти данные при прогнозе эффективных толщин в межскважинном пространстве. Значимых корреляционных связей, восстановленных и рассчитанных по данным ГИС значений  $V_p/V_s$  и плотности, не выявлено.

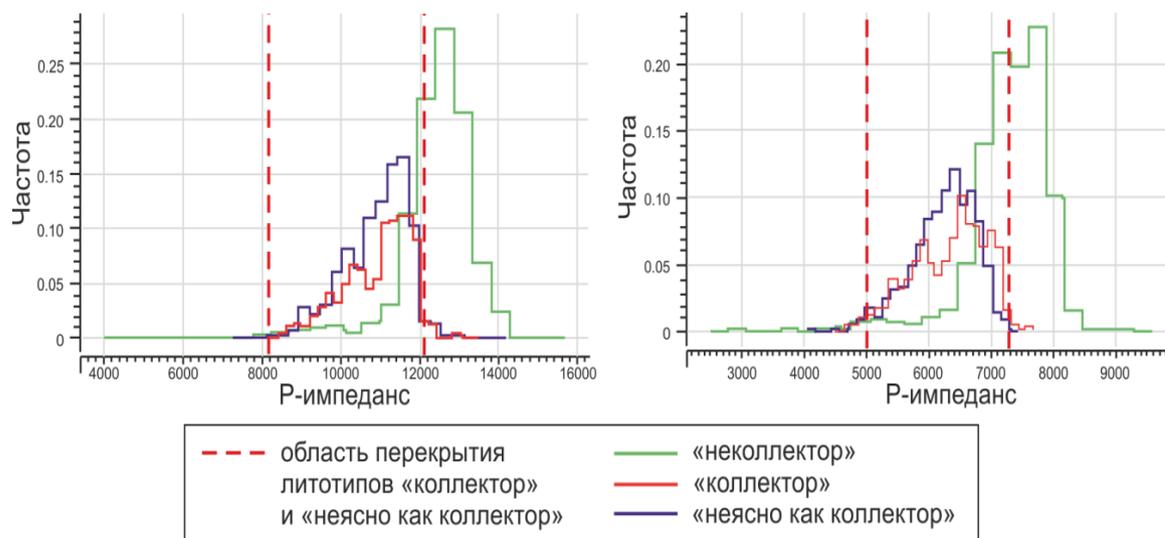
### **Прогноз эффективных толщин коллекторов ДЮК на Кирилкинской площади по данным синхронной инверсии материалов МОГТ 3D**

Как отмечалось выше, основными объектами для прогноза коллекторов в ДЮК Кирилкинской площади являлся интервал горизонта измененных пород, который поделен на два уровня – это интервал ГИП<sub>1</sub> и интервал ГИП<sub>2</sub>.

На этапе интерпретации каротажных материалов в ДЮК выделено три литотипа: «коллектор», «неясно как коллектор» и «неколлектор». Дальнейший анализ кросс-плотов связи эффективных толщин по ГИС и прогнозных суммарных мощностей коллекторов по сейсмическим данным показал, что значения литотипов «коллектор» и «неясно как коллектор» близки по упругим свойствам, поэтому они для удобства моделирования были объединены в один литотип «коллектор» (Рис. 10).

Всего в рамках работы для анализа использовано 12 скважин, которые в той или иной степени освещают керном отдельные интервалы ДЮК в районе Кирилкинской площади и на близлежащих территориях.

По данным ГИС и керна подошва интервала ГИП<sub>1</sub> зафиксирована в пяти скважинах ( $X_5$ ,  $X_9$ ,  $X_{11}$ ,  $X_{12}$ ,  $X_4$ ), ещё шесть скважин ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_6$ ,  $X_7$ ,  $X_{10}$ ) вскрыли около 90 % от мощности всего интервала ГИП<sub>1</sub>.



**Рис. 10. Гистограммы распределения литотипов в полях  $P$ - и  $S$ -импедансов, в интервале кровля ДЮК (ОГ А) – забой скважины**

Залегающий ниже интервал ГИП<sub>2</sub> хуже освещен бурением. Только четыре скважины ( $X_5$ ,  $X_9$ ,  $X_{12}$  и  $X_4$ ) вскрывают интервал ГИП<sub>2</sub> на 10 %. При этом подошва ГИП<sub>2</sub> вскрыта только скважиной  $X_{11}$ , которая расположена за пределами Кирилкинской площади. Учитывая слабую изученность бурением интервала ГИП<sub>2</sub>, прогноз коллекторов для этого интервала не выполнялся.

Для учёта неопределённости в зонах перекрытия литотипов в интервале ГИП<sub>1</sub> использована объёмная интерпретация результатов инверсии, основанная на вероятностной оценке. По результатам синхронной инверсии удалось достаточно качественно восстановить не только акустический ( $P$ ) и сдвиговый ( $S$ ) импедансы, но и сохранить разделение литотипов «коллектор»/«неколлектор». Результаты данного анализа позволили сделать заключение о возможности использования результатов синхронной инверсии для прогноза коллекторов в интервале ДЮК на территории Кирилкинской площади.

Качество восстановленных значений литотипов контролировалось путём сравнения их со значениями литотипов в скважинах, полученных в результате интерпретации данных ГИС. По результатам выполненной ве-

роятностной оценки получены два куба: куб литотипов «коллектор/неколлектор» и куб вероятности «коллектора» и «неколлектора».

На рис. 11 представлены карта временной мощности интервала ГИП<sub>1</sub>, полученная по кубу литотипов «коллектор»/«неколлектор», и карта суммы значений вероятности коллектора в этом же интервале.

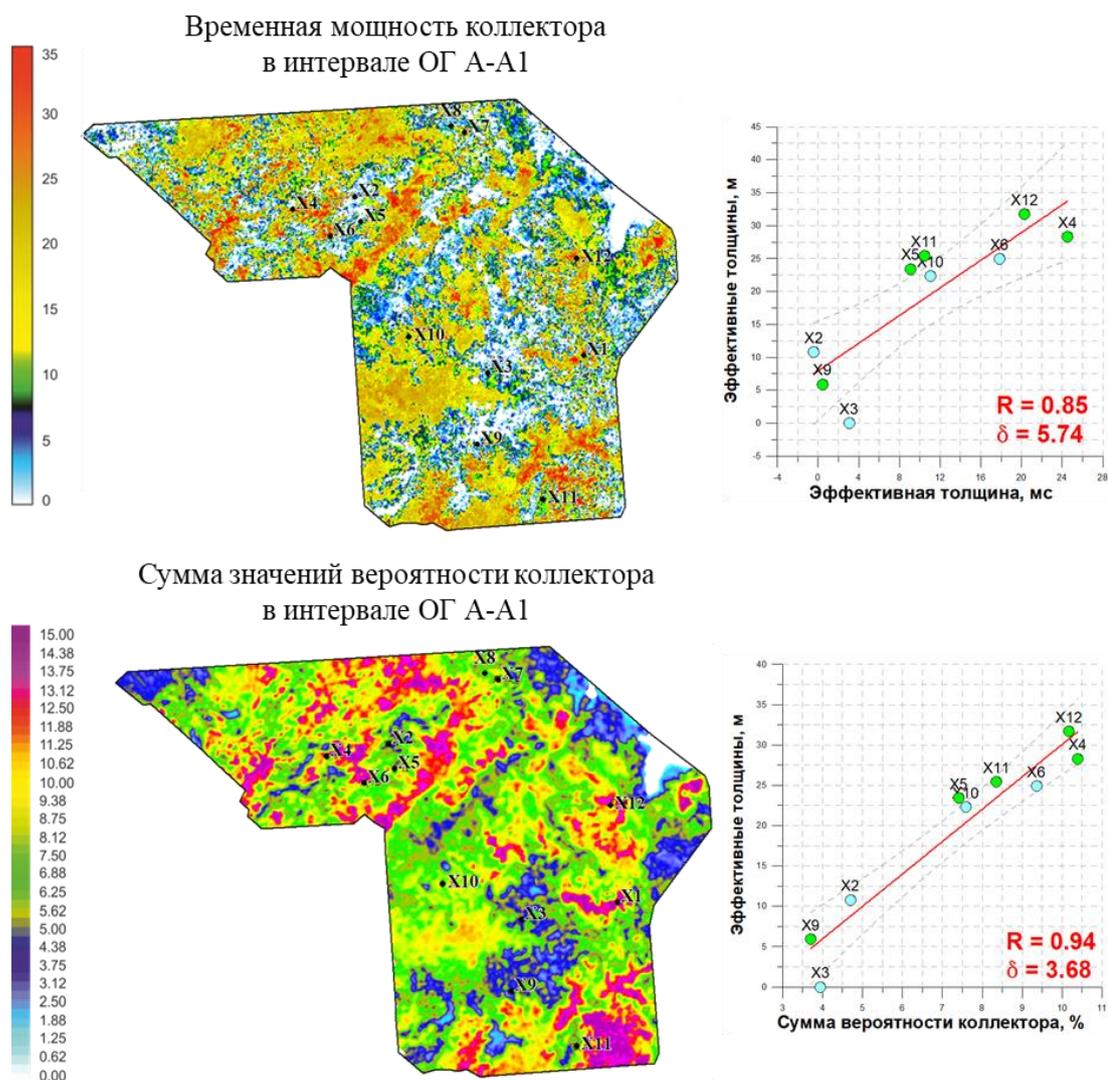


Рис. 11. Карты временной мощности и вероятности коллекторов ДЮК зоны ГИП<sub>1</sub>

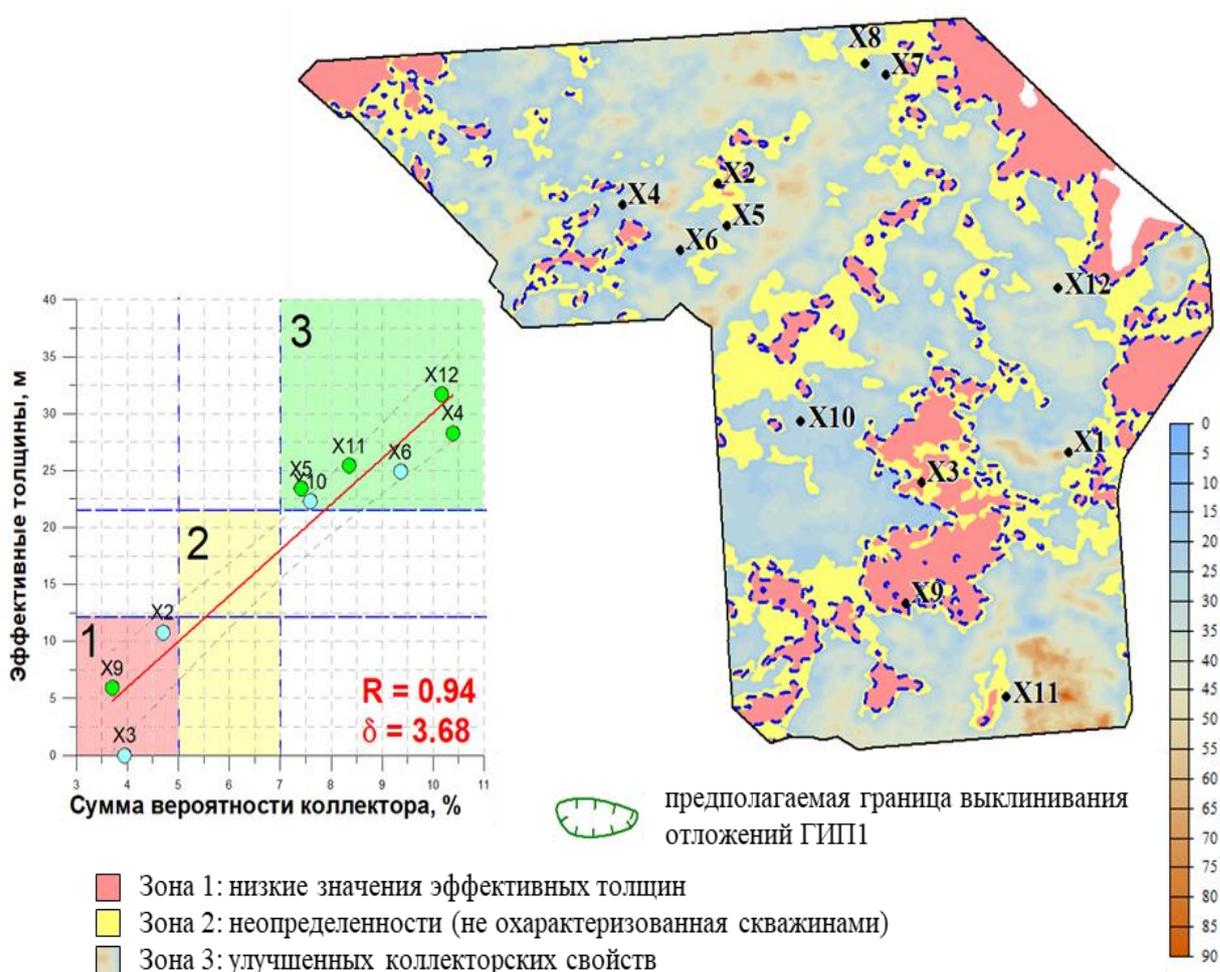
На кроссплоте эффективных толщин во временном и глубинном масштабе распределение значений в точках скважин обладают большей неоднозначностью, чем связь прогнозных эффективных толщин и суммы значений вероятности коллектора. Например, скважины X<sub>2</sub>, X<sub>9</sub> и X<sub>3</sub> разде-

лить в поле значений временной эффективной мощности довольно сложно. Аналогичная ситуация наблюдается со скважинами  $X_5$ ,  $X_{11}$  и  $X_{10}$ .

Таким образом, для интервала ГИП<sub>1</sub> для получения распределения эффективных толщин в межскважинном пространстве выбрана карта суммы значений вероятности коллектора. Детальный анализ распределения значений эффективных толщин в поле значений суммы вероятности коллектора позволил выделить три диапазона вероятности коллектора, каждый из которых характеризуется степенью встречаемости эффективных толщин (Рис. 12).

Зона №1 (розовый сектор на гистограмме рис. 12) – соответствует зоне низких значений эффективных толщин коллекторов. В неё попали скважины с низкими значениями эффективных толщин выделенные по данным ГИС.

Близкое территориальное расположение трех скважин:  $X_3$  (Нэфф = 0 м),  $X_9$  (Нэфф = 5,9 м) и  $X_2$  (Нэфф = 10,8 м) на кроссплоте характеризует эту область, как область с ухудшенными коллекторскими свойствами и подразумевает то, что обнаружить коллектор в интервале ДЮК в окрестностях этой зоны маловероятно. Зона №2 (желтый сектор на гистограмме, рис. 12) данными скважин не охарактеризована. Поэтому характеризуется как зона больших неопределенностей. Зона №3 (зеленый сектор на гистограмме, рис. 12) отнесена к области пород с улучшенными коллекторскими свойствами. Эта зона охарактеризована максимальными данными по шести скважинам.



*Рис. 12. Карта прогнозных эффективных толщин коллекторов ДЮК интервала ГИП<sub>1</sub> Кирилкинской площади*

### Выводы

В статье приведен опыт прогноза коллекторов интервала ДЮК на Кирилкинской площади (Уватский район юга Тюменской области) на основе результатов синхронной инверсии. По результатам выполненных работ получены выводы:

- На основе изучения общего сейсмогеологического строения доюрского основания по скважинным данным (керна, ГИС) и сейсмическим материалам МОГТ 3D, этот интервал разреза стратифицирован на несколько крупных сейсмокомплексов;

- Под подошвой мезозойского осадочного чехла выделена зона в виде горизонта измененных пород разной мощности, с которой связывается ос-

новой объём коллекторов с разными ФЕС. Для выделения этой зоны впервые для стратификации разреза интервала доюрского основания использованы результаты инверсии в виде куба акустического импеданса;

– При изучении вещественных пород ДЮК Кирилкинской площади и порового пространства коллекторов установлено, что на их проницаемость наличие трещин оказывают слабое влияние. В зоне развития кислых эффузивов триаса, переработанных процессами метасоматического выщелачивания, развиты коллекторы порово-кавернового типа;

– Для выделения коллекторов ДЮК на Кирилкинской площади использован нетрадиционный подход на основе комплексирования результатов записи профиля притока в интервалах перфорации, интерпретация кривых ЯМК, АКШ, ГГК-П, ЭМ и данные промысловых геофизических исследований (ПГИ) – определение интервалов притока;

– На основе прогноза эффективных толщин для интервала ГИП<sub>1</sub> установлено, что эффективная мощность коллекторов может изменяться от 1 до 90 м при среднеквадратической ошибке картопостроения 3,68 м, при этом максимальная ошибка составляет 5 м (район скважины X<sub>3</sub>);

– Карта эффективных толщин для зоны ГИП<sub>1</sub> рассчитывалась на основе карты распределения значений суммы вероятности коллектора. Карта суммы вероятности коллектора получена по результатам вероятностной оценки распределения литотипов «коллектор и неколлектор» в поле значений P- и S-imp. По результатам анализа полученной зависимости значения суммы вероятности коллектора были ранжированы на три диапазона (1-низкие значения эффективных толщин, 2-зона неопределенности, 3-высокие значения эффективных толщин), которые затем сопоставлены с картой эффективных толщин, где и были выделены области с наименьшей вероятностью встретить коллектор.

## Список литературы

1. Моисеев С.А., Елишева О.В., Рыжкова С.В. и др. Ресурсы юга Западной Сибири // Нефтегазовая вертикаль. -№ 7. -2005. С. 38-41.
2. Елишева О.В. Проблема выделения кор выветривания в кровле доюрского основания в южных районах Центрального Увата – один из ключевых рисков неуспешного бурения скважин // Сборник научных трудов ООО «ТННЦ». –вып. 5, Тюмень: – 2019. –С. 58-65.
3. Добровольский Д.В. Гипергенез и коры выветривания // Изб. труды. –Т1. –Москва: изд-во «Научный мир». –2007. –512 с.
4. Жильцова А.А., Исаев В.И., Коржов Ю.В. Вертикальная геохимическая зональность нефтегазоносных комплексов (на примере Рогожниковского и Северо-Рогожниковского месторождений) // Известия Томского политехнического университета, -2013. – Т.322, -С. 69-82.
5. Елишева О.В., Шилова Ю.В., Сидоров Д.А. и др. Типизация пород доюрского основания по керну и прогноз вещественного состава с помощью нейросетевого моделирования на основе карт Кохонена // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 5. – С. 14–35. – DOI 10.31660/0445-0108-2022-5-14-35.
6. Кохонен, Т. Самоорганизующиеся карты: [нейронное моделирование, варианты самоорганизующихся карт, физиологическая интерпретация SOM, обучающееся векторное квантование, применение самоорганизующихся карт, средства программного обеспечения для SOM] / Т. Кохонен ; перевод с английского В. Н. Агеева, под редакцией Ю. В. Тюменцева. – Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2008. – 655 с. – Перевод изд.: Self-organizing maps / Teuvo Kohonen. Berlin [et al.], 2001. – Текст: непосредственный.
7. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом. // Под ред. В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. М-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003 г.
8. Бембель С.Р., Ефимов В. А. Петрофизическая интерпретация геофизических исследований скважин и геологическая модель объекта сложенного метаморфическими породами // Издательство «ООО "ЕАГЕ Геомодель"» 2015 г. С. 96-115
9. Малинин А.В., Зеленов А.С., Сошин С.С. и др. Опыт применения ядерномагнитного каротажа для изучения ачимовской толщи Западной Сибири//НТВ Каротажник 2021г. №6(312) 5-21.
10. Добрыдень С.В., Корнев В.А., Семёнова Т.В. Петрологическое расчленение и межскважинная корреляция разрезов вулканогенных отложений // Нефтяное хозяйство 2021 Июнь.
11. Шилова Ю.В., Елишева О.В. Возможности расширенного комплекса ГИС в породах доюрского основания при проведении геологоразведочных работ в Уватском районе Тюменской области // НТВ Каротажник: Тверь, -2022, № 6. (320), -С. 80-93.
12. Полушина Д.А., Абдулин Р.Н., Рахматулина А.Р. Исследование трещиноватости горных пород методом электрического микросканирования // Каротажник. – 2013. – № 10(232). – С. 43-57.
13. Добрынин С.В, Стенин А.В. Оценка проницаемости и динамической пористости по данным широкополосного акустического каротажа (АКШ) // НТВ Каротажник. Тверь, 2008г, №4 (169) С. 45-49.
14. Козяр В.Ф., Глебочева Н.К., Медведев Н.Я. Выделение проницаемых пород-коллекторов по параметрам волны Стоунли (результаты промышленных испытаний)// НТВ "Каротажник". Тверь: ГЕРС. 1999. Вып. 56. С. 52-59.
15. Ухлоva Г.Д., Варламов С.Н., Кос И.М. Построение геологических моделей продуктивных пластов неоккома центральной части Западно-Сибирской НПП по комплексу

- атрибутов сейсмической записи // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, №10. 2006. С. 78-91.
16. Бекренёв Р.К., Дугаров Г.А., Нефедкина Т.В. Тестирование оптимизации алгоритма AVAZ инверсии на синтетических данных// Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 2. № 1. С. 354-361.
  17. Мармалевский Н.Я., Хромова И.Ю. и др. Примеры применения миграции дуплексных волн для изучения зон трещиноватости // Збірник наукових прац УкрДГЗІ. - 2011. №4. С. 162-170.
  18. Кондратьев, И.К. Способы реализации и оценка эффективности сейсмической инверсии: учебное пособие / Кондратьев И.К., Рыжков В.И., Киссин Ю.М., Шубин А.В. // М: издательский центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. -2011. – 62 с.

### References

1. Moiseev S.A., Elisheva O.V., Ryzhkova S.V. and others. Resources of the South of Western Siberia // Oil and gas vertical. -No. 7. -2005. pp. 38-41. (in Russian)
2. Elisheva O.V. The problem of weathering crust allocation in the roof of the pre-Jurassic foundation in the southern regions of the Central Uvat is one of the key risks of unsuccessful drilling of wells // Collection of scientific papers of TNNTS LLC. –issue 5, Tyumen: -2019. –pp. 58-65. (in Russian)
3. Dobrovolsky D.V. Hypergenesis and weathering crust // Izb. trudy. –T1. –Moscow: publishing house "Scientific world". -2007. -512 p. (in Russian)
4. Zhiltsova A.A., Isaev V.I., Korzhov Yu.V. Vertical geochemical zonality of oil and gas complexes (on the example of Rogozhnikovsky and Severo-Rogozhnikovsky deposits) // Izvestiya Tomsk Polytechnic University, -2013. – Vol.322, - pp.69-82. (in Russian)
5. Elisheva O.V., Shilova Yu.V., Sidorov D.A. and others. Typification of rocks of the Pre-Jurassic base by core and prediction of material composition using neural network modeling based on Kohonen maps // News of higher educational institutions. Oil and Gas. – 2022. – No. 5. – pp. 14-35. – DOI 10.31660/0445-0108-2022-5-14-35. (in Russian)
6. Kohonen, T. Self-organizing maps: [neural modeling, variants of self-organizing maps, physiological interpretation of SOM, learning vector quantization, application of self-organizing maps, software tools for SOM] / T. Kohonen; translation translated from English by V. N. Ageev, edited by Yu. V. Tyumentsev. – Moscow: Binom. Laboratory of Knowledge, 2008. – 655 p. – Translated by: Self-organizing maps / Teuvo Kohonen. (in Russian)
7. Methodological recommendations for calculating geological reserves of oil and gas by the volumetric method.// Edited by V.I. Petersillier, V.I. Poroskun, G.G.Yatsenko. M-Tver: VNIGNI, NPC Tvergeofizika, 2003. (in Russian)
8. Bembel S.R., Efimov V. A. Petrophysical interpretation of geophysical studies of wells and a geological model of an object composed of metamorphic rocks // Publishing house "EAGE Geomodel LLC" 2015 pp. 96-115. (in Russian)
9. Malinin A.V., Zelenov A.S., Soshin S.S. and others. The experience of using nuclear magnetic logging to study the Achimov strata of Western Siberia//NTV Logging 2021 No.6(312) 5-21. (in Russian)
10. Dobryden S.V., Kornev V.A., Semenova T.V. Petrological dismemberment and inter-well correlation of sections of volcanogenic deposits // Oil industry 2021 June. (in Russian)
11. Shilova Yu.V., Elisheva O.V. The possibilities of an expanded GIS complex in rocks of the pre-Jurassic base during geological exploration in the Uvatsky district of the Tyumen region // NTV Karotazhnik: Tver, -2022, №6(320), - pp. 80-93. (in Russian)
12. Polushina D.A., Abdulin R.N., Rakhmatulina A.R. Investigation of rock fracturing by electric microscanning // Logger. – 2013. – № 10(232). – Pp. 43-57. (in Russian)

13. Dobrynin S.V., Stenin A.V. Assessment of permeability and dynamic porosity according to broadband acoustic logging (CABG) // NTV Logging. Tver, 2008, №4 (169) 45-49. (in Russian)
14. Kozyar V.F., Glebocheva N.K., Medvedev N.Ya. Isolation of permeable reservoir rocks according to the parameters of the Stonely wave (results of industrial tests)// NTV "Karotazhnik". Tver: GERS. 1999. Issue 56. pp. 52-59. (in Russian)
15. Ukhlova G.D., Varlamov S.N., Kos I.M. Construction of geological models of productive Neocomian strata of the central part of the West Siberian NGP based on a set of attributes of seismic recording // Geology, Geophysics and development of oil and gas fields, No. 10. 2006. pp. 78-91. (in Russian)
16. Bekrenev R.K., Dugarov G.A., Nefedkina T.V. Testing the optimization of the AVAZ inversion algorithm on synthetic data// Interexpo Geo-Siberia. 2021. Vol. 2. No. 1. pp. 354-361. (in Russian)
17. Marmalevsky N.Ya., Khromova I.Yu. et al. Examples of the application of duplex wave migration for the study of fracture zones // Zbirnik naukovikh prats UkrDGZI. 2012011. №4. С. 162-170. (in Russian)
18. Kondratiev, I.K. Methods of implementation and evaluation of the effectiveness of seismic inversion: Study guide / Kondratiev I.K., Ryzhkov V.I., Kissin Y.M., Shubin A.V. // Moscow: Publishing Center of Gubkin Russian State University of Oil and Gas. -2011. – 62 с. (in Russian)

#### **Сведения об авторах**

*Шахов Андрей Васильевич*, заведующий сектором динамической интерпретации сейсмических данных, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»  
Россия, 625000, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1  
E-mail: avshakhov@tnnc.rosneft.ru

*Елишева Ольга Владимировна*, кандидат геолого-минералогических наук, эксперт по геологии, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»  
Россия, 625000, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1  
E-mail: ovelisheva@tnnc.rosneft.ru  
Scopus author ID: 57112661300  
SPIN: 9449-0683  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2823-3503>

*Кондрашова Наталья Николаевна*, менеджер отдела геологии и сейсмической интерпретации, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»  
Россия, 625000, Тюмень, ул. Осипенко 79/1  
E-mail: nnkondrashova@tnnc.rosneft.ru

*Шилова Юлия Владимировна*, заведующий сектором интерпретации ГИС и керна отдела сопровождения ГПП, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»  
Россия, 625000, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1  
E-mail: YVShilova@tnnc.rosneft.ru

*Мельникова Мария Николаевна*, главный специалист отдела геологии и сейсмической интерпретации, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»  
Россия, 625000, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1  
E-mail: mnmelnikova@tnnc.rosneft.ru

## Authors

*A.V. Shakhov*, Section Head, Dynamic Interpretation of Seismic Data, Tyumen Petroleum Research Center  
79/1, Osipenko Str., Tyumen, 625000, Russian Federation  
E-mail: avshakhov@tnc.rosneft.ru

*O.V. Elisheva*, Expert in Geology, Hydrocarbon Potential Department, Tyumen Petroleum Research Center  
79/1, Osipenko Str., Tyumen, 625000, Russian Federation  
E-mail: ovelisheva@tnc.rosneft.ru  
Scopus author ID: 57112661300  
SPIN: 9449-0683  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2823-3503>

*N.N. Kondrashova*, Manager of the Department of Geology and Seismic Interpretation, Tyumen Petroleum Research Center  
79/1, Osipenko Str., Tyumen, 625000, Russian Federation  
E-mail: nkondrashova@tnc.rosneft.ru

*U.V. Shilova*, Head of the GIS and Core Interpretation Sector of the Exploration Support Department, Tyumen Petroleum Research Center  
79/1, Osipenko Str., Tyumen, 625000, Russian Federation  
E-mail: YVShilova@tnc.rosneft.ru

*M.N. Melnikova*, Chief Specialist of the Department of Geology and Seismic Interpretation, Tyumen Petroleum Research Center  
79/1, Osipenko Str., Tyumen, 625000, Russian Federation  
E-mail: mnmelnikova@tnc.rosneft.ru

*Статья поступила в редакцию 25.07.2024*  
*Принята к публикации 14.09.2024*  
*Опубликована 30.09.2024*