

УДК 551(470.61)
DOI: 10.31660/0445-0108-2022-5-14-35

**Типизация пород доюрского основания по керну и прогноз
вещественного состава с помощью нейросетевого
моделирования на основе карт Кохонена**

О. В. Елишева*, Ю. В. Шилова, Д. А. Сидоров, М. Н. Мельникова

ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

*ovelisheva@tnnc.rosneft.ru

Аннотация. В статье приведены результаты изучения пород доюрского основания на территории Кирилкинской площади Уватского района юга Тюменской области. Показано, что для того чтобы в интервале доюрского комплекса пород (ДЮК) прогнозировать коллекторы в межскважинном пространстве по сейсмическим материалам МОГТ 3D, необходима корректная увязка волнового поля с вещественным составом пород (коллектор-неколлектор). Поскольку интервал ДЮК обычно изучен кернам фрагментарно (в кровле и на забое), в статье рассматривается вариант применения технологии нейросетевого моделирования на основе использования параметров геофизического исследования скважин (ГИС) для восстановления вещественного состава пород ДЮК. Так как методически подходы восстановления вещественного состава пород по данным каротажа опираются на комплекс количественных показателей кривых для каждого типа пород, большое значение имеет сам подход разделения пород ДЮК на петротипы. В данной работе выделение петротипов выполнялось не только на основе вещественного состава пород, но и учитывались их фильтрационно-емкостные свойства и геофизическая характеристика по каротажу. Прогноз вещественного состава на основе ГИС выполнялся в несколько этапов. На первом было выполнено выделение петротипов по данным керна, что позволило все типы пород, описанные в скважинах, сгруппировать в шесть основных макропетротипов. Затем для каждого петротипа на основе анализа кроссплотов «ГИС-ГИС» был выделен комплекс оптимальных значений параметров ГИС, что позволило провести нейросетевое моделирование на основе карт Кохонена и восстановить состав ДЮК для дальнейшего прогноза коллекторов по сейсмическим данным.

Ключевые слова: петротипы ДЮК, туринская серия триаса, нейросетевое моделирование на основе карт Кохонена, технологии нейросетевого моделирования на основе ГИС

Для цитирования: Типизация пород доюрского основания по керну и прогноз вещественного состава с помощью нейросетевого моделирования на основе карт Кохонена / О. В. Елишева, Ю. В. Шилова, Д. А. Сидоров, М. Н. Мельникова. – DOI 10.31660/0445-0108-2022-5-14-35 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 5. – С. 14–35.

**Typing pre-Jurassic base rocks by core data and predicting rocks
composition by using neural simulation based on Self-Organizing Maps**

**Olga V. Elisheva*, Yulia V. Shilova, Dmitry A. Sidorov,
Maria N. Melnikova**

Abstract. The article describes the study of the pre-Jurassic base rocks in the territory of the Kirilkinskaya area of Uvat district in the south of Tyumen region. It was demonstrated that in order to predict net reservoirs in the interwell space within the pre-Jurassic rock complex using 3D seismic CDP data, correct tie-in of the wave field with the material composition (net reservoir vs. non-reservoir) of the rocks is needed. Since the pre-Jurassic interval is usually only fragmentarily studied by the core (at the top and at the bottomhole), the article considers the option of using neural simulation technology based on well logging parameters to restore the material composition of the pre-Jurassic rocks. Since the approaches to the restoration of the material composition of rocks according to well logging data are based on a set of quantitative indicators of the curves for each type of rocks, the approach of dividing the pre-Jurassic rocks into petrotypes is of great importance. In this study, the petrotypes were separated not only on the basis of the material composition of rocks, but the reservoir properties and logging-based properties were also taken into account. Logging-based material composition was estimated in several stages. At the first stage, petrotypes were separated from core data, which allowed to group all types of rocks described in the wells into six main petrotypes. Then, for each petrotype, based on the analysis of log-log cross-plots, a set of optimal logging parameters was identified. This allowed running a neural simulation based on Self-Organizing Maps and restoring the material composition of the pre-Jurassic complex for further net reservoir prediction from seismic data.

Keywords: pre-Jurassic petrotypes, Turinsky Triassic series, neural simulation based on Self-Organizing Maps, logging-based neural simulation technologies

For citation: Elisheva, O. V., Shilova, Yu. V., Sidorov, D. A., & Melnikova, M. N. (2022). Typing pre-Jurassic base rocks by core data and predicting rocks composition by using neural simulation based on Self-Organizing Maps. *Oil and Gas Studies*, (5), pp. 14-35. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2022-5-14-35

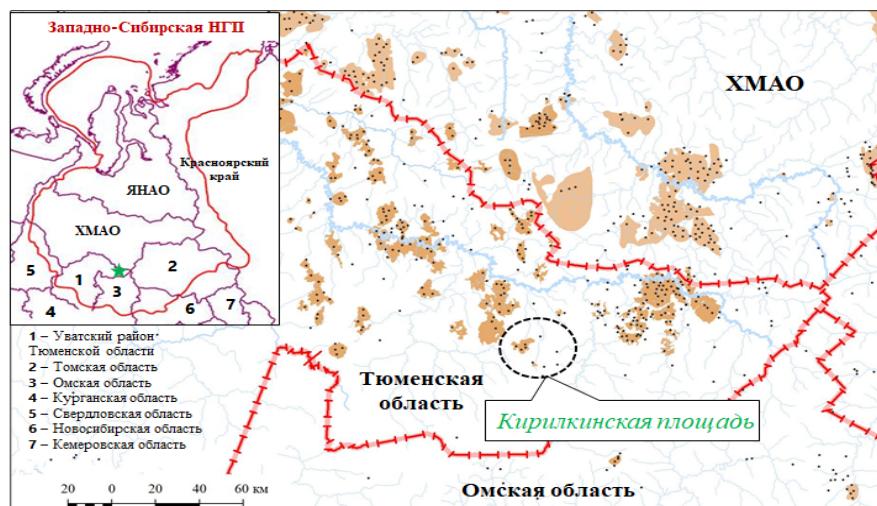
Введение

На территории Уватского района юга Тюменской области доюрский комплекс пород до недавнего времени считался только потенциально нефтеносным интервалом, так как при бурении поисковых скважин в керне периодически встречались признаки наличия углеводородов (УВ), но самих притоков нефти при испытаниях получать не удавалось. При этом на других периферийных территориях Западно-Сибирского бассейна (ЗСБ), таких как Омская, Томская и Новосибирская области, давно открыты залежи УВ в доюрском комплексе (ДЮК) [1].

В 2013 году при опoisковании потенциально нефтеносных структур на Кирилкинской площади впервые на территории Уватского района из двух интервалов ДЮК были получены промышленные притоки УВ (рис. 1).

Таким образом, установленная непосредственно на площадях Уватского района нефтеносность доюрского интервала привела к необходимости более детального изучения этой части геологического разреза, с целью поиска методик, позволяющих прогнозировать коллекторы в ДЮК на основе сейсмических материалов и ограниченного объема данных бурения.

Несмотря на то, что резервуары доюрского основания ЗСБ изучаются больше 60 лет разными специалистами, прогноз коллекторов в этой части разреза до сих пор считается очень сложным, что обусловлено большим комплексом проблем, из которых две являются ключевыми.



**Рис. 1. Обзорная карта района исследований
(Уватский район юга Тюменской области)**

Первая проблема связана со сложным строением порового пространства коллекторов ДЮК, на которое влияние оказали три основных фактора: 1) большая глубина залегания пород ДЮК более 3 км (из-за чего почти на всей территории ЗСБ породы доюрского основания находятся в зоне катагенетических изменений) [2]; 2) нарушенность интервала ДЮК большим количеством разрывных нарушений, с которыми связаны обширные зоны трещиноватости пород [3]; 3) специфика формирования емкостного пространства в породах магматической природы [4].

Вторая проблема связана с фрагментарной изученностью доюрского комплекса пород данными глубокого бурения, а именно керном и каротажем (ГИС). В результате чего основным материалом, на который опирается большинство специалистов при прогнозе коллекторов ДЮК, являются данные площадных сейсмических работ МОГТ 3D.

Несмотря на широкое применение последние 20 лет сейсмических материалов для прогноза коллекторов в межскважинном пространстве, как показывает практика геологоразведочных работ, более-менее универсальные, широко применяемые технологии для интервала ДЮК, например, как для осадочного чехла, на сегодняшний день пока отсутствуют.

Это обусловлено тем, что традиционно в интервале доюрского основания наличие резервуаров для УВ связывают в первую очередь с зонами трещиноватости, которые очень сложно прогнозировать по сейсмическим данным. Поэтому специалисты ведущих российских нефтегазовых компаний стараются внедрять разные методологические подходы. Одни используют технологии на основе анализа геометрических атрибутов волнового сейсмического поля — когерентности, спектрального разложения сейсмических полей, как и для объектов (резервуаров) осадочного чехла [5]. Другие используют технологии на основе анализа анизотропии пород

(например, методика AVAZ [6]). Третьи активно применяют технологии на основе использования миграции дуплексных волн [7] и т. д.

Несмотря на широкий спектр применяемых технологий, во всех перечисленных случаях для применения сейсмических материалов при прогнозе коллекторов в доюрском основании требуется специальная объектно-ориентированная обработка непосредственно на этот интервал разреза. После ее выполнения для корректного использования сейсмических данных при прогнозе резервуаров важным моментом является представление о том, какие из пород ДЮК (на глубинах 2–3 км) являются коллекторами, а какие — нет. Общепринятой процедурой для разделения пород на коллекторы и неколлекторы является лито- или петротипизация, особенности которой для интервала доюрского основания ЗСБ приведены в рамках данной статьи.

Материал и технология типизации пород доюрского основания по данным бурения и ГИС

Несмотря на ограниченный объем данных глубокого бурения по интервалу доюрского основания, керновый материал является основным источником, с анализа которого начинается типизация пород ДЮК под задачи сейсмогеологического прогноза коллекторов на основе геофизического исследования скважин (ГИС) и сейсмических данных.

В данной работе выделение петротипов в интервале ДЮК опиралось: 1) на макроописание пород по керну; 2) характеристику пород в шлифах (фото, минерально-петрографическое описание); 3) данные петрофизического изучения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС); 4) результаты рентгеноструктурного анализа (РСА); результаты рентгенофлуоресцентного анализа (РФА); 5) данные растрового электронного микроскопа (РЭМ) и 6) данные геофизического исследования скважин.

По результатам анализа керна материала на территории Кириллинской площади изначально на генетической основе было выделено 22 типа, объединенных в дальнейшем в крупные петротипы. По описанию керна в скважинах описываемой территории в кровле ДЮК вскрываются в основном магматические породы кислого ряда (риолиты и их туфы, лавобрекчии, трахириолиты и т. д.), в единичных скважинах — породы основного ряда (базальты). При этом часть пород подвержена сильным вторичным изменениям, часть имеет небольшие признаки преобразования.

Для объединения пород в более крупные кластеры петротипов в ходе работы широко использовались данные микроописания пород — шлифы, включая не только их описание, но и фото образцов с анализатором и без с разной кратностью увеличения — 25, 50, 100 и 200 (102 шлифа).

Привлечение данных РЭМ (минерально-петрографическая характеристика пород) позволило проанализировать не только основной компонентный состав изучаемых пород ДЮК, но и изучить морфологию и размеры порового пространства коллекторов, а также микротрещиноватость.

Для изучения минерального состава глинистого цемента (каолинита, хлорита, гидрослюд и т. д.) в поровом пространстве использованы результаты метода РСА (57 образцов).

Также в ходе анализа использованы результаты метода РФА, которые включали не только процентное содержание в разных породах окислов Si, Al, Fe, K, Na, но и количество редких элементов (98 образцов).

Поскольку прогноз коллекторов по сейсмическим данным имеет свою специфику, из-за того, что сейсмический сигнал «видит» геологические объекты (резервуары УВ) в волновом поле через петрофизические свойства пород, выделение типов на основе сугубо генетической природы пород не имеет практического смысла. Например, одна и та же порода кислого ряда — риолит на одних глубинах может быть коллектором, за счет влияния на нее гидротермально-метасоматических процессов, на других глубинах эта же порода является неколлектором. Поэтому важными показателями, которые использовались для типизации, были результаты петрофизических исследований по керну, которые включали данные по открытой пористости и проницаемости, определенные в разных условиях (вода, гелий), а также данные по объемной и минеральной плотности пород.

Как отмечалось выше, в ДЮК объем кернового материала даже в поисковых скважинах, при проходке по этому комплексу пород более 50–70 м, редко превышает 10–15 м (в отдельных случаях 20 м). При этом отбор, как правило, выполняется в кровельной части доюрского комплекса и на забое. Поэтому для изучения вещественного состава этой части геологического разреза в скважинах кривые ГИС являются второй по важности информацией, которая широко использовалась в работе при типизации пород.

В исследовании использован каротажный материал 12 скважин. В стандартный комплекс входили: каротаж потенциалов самопроизвольной поляризации — ПС; многозондовый индукционный каротаж — МНИК (ВИКИЗ); нейтронный каротаж (НКТ; водородосодержание WS), гамма-каротаж (ГК) и гамма-гамма плотностной каротаж (ГГК-П), также использовался низкочастотный широкополосный акустический каротаж (АКШ), спектральный гамма-каротаж (СГК) и ядерно-магнитный каротаж (ЯМК), электрический микросканер (ЭМС). В ходе анализа также использован параметр упругих свойств пород — акустический импеданс (AI) (произведение скорости и плотности), характеризующий акустическую жесткость пород.

На основе перечисленного списка фактурных данных в данной работе *технология* выделения лито- или петротипов интервала доюрского осадочного, которые в дальнейшем использовались для прогноза коллекторов по сейсмическим данным, включала *три этапа или шага*.

На *1-м этапе* на основе макроописания пород по керну и характеристики в шлифах было выделено 22 петротипа на генетической основе, которые, несмотря на петрографическую однотипность пород (эффузивные

кислые магматические разности), отличаются друг от друга макропризнаками — цветом пород, наличием отдельных включений, признаков вторичных изменений (карбонатизацией, хлоритизацией и т. д.), а также особенностями текстур и структур пород, характеризующих, в общем виде, тип извержения или излияния магматических пород (лава, туф, туфолава и т. д.).

Поскольку, как отмечалось выше, объем керновых данных в интервале доюрского основания часто ограничен, а для решения задач прогноза коллекторов по сейсмическим данным необходимо полное представление о вещественном составе пород ДЮК в объеме разреза, вскрытого скважинами, восстановление вещественного состава возможно по данным ГИС.

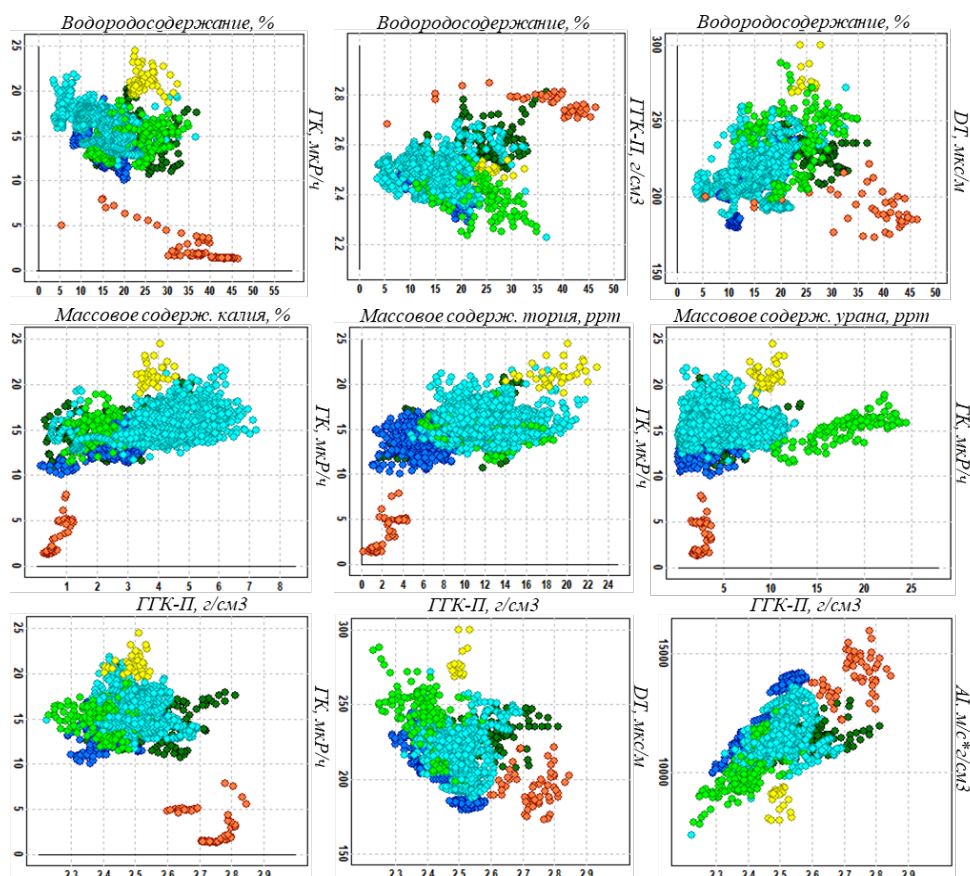
Для того чтобы при межскважинном прогнозе коллекторов масштабы сейсмического моделирования и моделирования по ГИС сопоставить между собой, на 2-м *этапе* количество петротипов, выделенных по керну и шлифам, было сокращено до минимального количества. Для этого 22 петротипа были сопоставлены с данными РЭМ, РФА, РСА и ФЕС и объединены в шесть крупных петротипов: гранофиры, риолиты, туфы риолитов, трахириолиты, туфы трахириолитов и базальты. Первые пять петротипов отнесены к потенциальным коллекторам с разными емкостными свойствами и только один петротип (базальт) отнесен к неколлектору (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика ФЕС петротипов ДЮК Кирилкинской площади по керну и ГИС

№	Литотип	Статистика	керн		ГИС		керн		ГИС	
			Кп, %	Кол. опр	Кп, %	Кпр, мД	Кол. опр	Кпр, мД	Кол. опр	Кпр, мД
1	Гранофир	мин	2,3	64	5,8	0,10	54	0,001		
		макс	16,8		13,0	0,40		0,217		
2	Трахириолит	мин	5,2	70	3,7	0,1	49	0,001		
		макс	14,0		16,1	4,8		1,238		
3	Туф трахириолита	мин	4,4	51	1,1	0,1	42	0,001		
		макс	12,4		14,5	0,5		0,514		
4	Риолит	мин	0,7	35	11,1	0,2	33	0,078		
		макс	18,8		20,7	1,4		17,332		
5	Туф риолита	мин	12,6	7	7,4	0,1	7	0,010		
		макс	15,6		11,0	0,6		0,100		
6	Базальт	сред	2,7	4	8,8	0,1	3	0,020		

На 3-м *этапе* для шести основных макропетротипов была построена серия кроссплотов «ГИС-ГИС», анализ которых позволил установить для каждого из них характерные значения параметров по ГИС (рис. 2), которые использовались для восстановления вещественного состава пород в интервалах без керна и для дальнейшего нейросетевого моделирования.



*цветовые коды петротипов приведены в таблице 1

Рис. 2. Сопоставление параметров ГИС выделенных на керне петротипов ДЮК

Описание петротипов пород ДЮК Кирилкинской площади

Петротип 1 «гранофир» изучен в скважинах Х₁, Х₄, Х₆ (рис. 3). Относится к классу магматических пород кислого ряда, с высоким содержанием силикатов (SiO₂ до 63–78 %). По химическому составу похож на трахириолиты и риолиты, но отличается от них гипабиссальными условиями формирования, что отразилось на типе структур. Структура гранофиров зернистая, матрица пород состоит из зерен кварца, полевых шпатов (ПШ) и плагиоклазов (PL), поровое пространство (поры, трещины) заполнено карбонатным материалом или вторичными глинистыми минералами. Гранофир, обладая зернистой структурой, чаще всего формирует порово-каверновый тип коллектора, обладающего при сильной гидротермальной проработке достаточно высокими емкостными свойствами.

По макроописанию скважин Кирилкинской площади породы петротипа «гранофир» имеют светло-серый цвет с зеленоватым оттенком и слабо в керне отличаются от риолитов и трахириолитов. Общая масса породы сложена зернами кварца и ПШ размером до 100–150 мкм. В породе часто

встречаются крупные (до 100 мкм), но изолированные межзерновые каверны выщелачивания и небольшой объем внутризерновых пор (до 5–10 мкм), образованные за счет выщелачивания плагиоклазов и ПШ. На территории Кирилкинской площади породы этого петротипа слаботрещиноватые, трещины нитевидной формы (апертура до 0,1–1 мм), количество не превышает 2 % от объема породы, залечены предположительно углистым или битуминозным веществом.

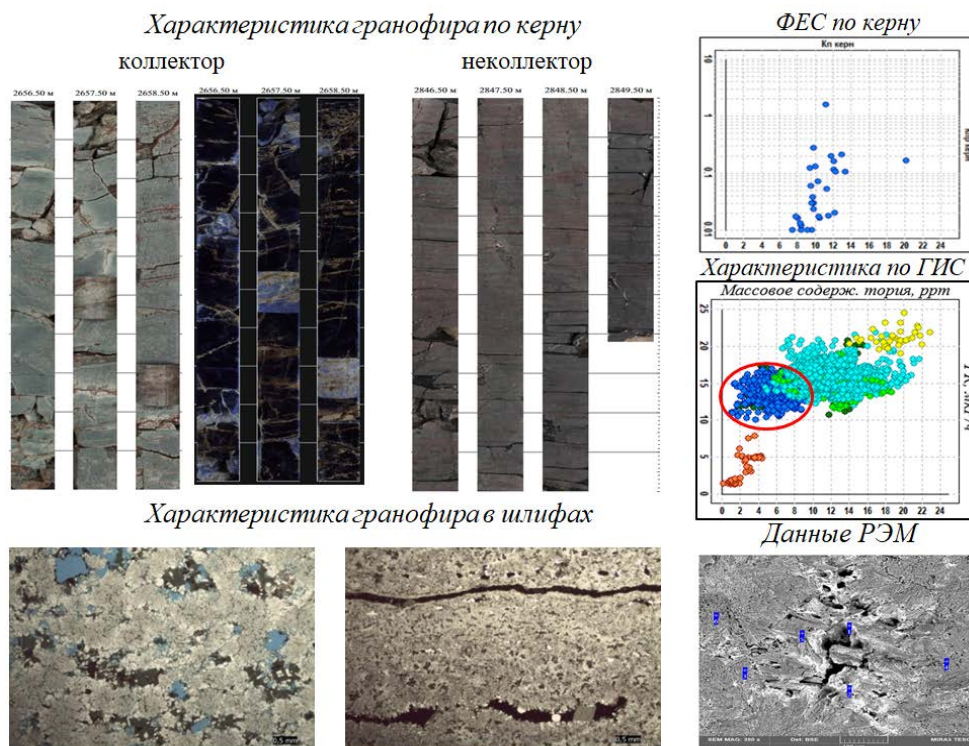


Рис. 3. Характеристика петротипа «гранофир»

По данным РЭМ установлено, что за счет процессов выщелачивания плагиоклазов и пироксенов в поровом пространстве коллекторов этого петротипа местами встречаются железистый хлорит и вторичный кальцит — минералы, снижающие ФЕС коллекторов. Таким образом, из-за изолированности большинства каверн и пор на фоне низкой трещиноватости пород фильтрационные свойства коллекторов гранофиоров (относительно других «петротипов» Кирилкинской площади) являются одними из самых низких. Так, при средней открытой пористости 8–14 % половина образцов петротипа свидетельствует о низкой проницаемости $((0,01–0,1) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2)$ гранофиоров, согласно второй половине образцов гранофиры могут быть коллекторами с проницаемостью $(0,1–1,0) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ (см. рис. 3).

По параметрам ГИС породы петротипа «гранофир» характеризуются показателями, приведенными в таблице 2.

Разброс значений параметров ГИС для петротипа «гранофир»

Значение	ДТП	ГТК-П	АI	Калий	Торий	Уран	GK	WS	КпЯМК
Мин.	184,5	2,33	10 251,6	1,0	3,9	0,7	11,1	9,5	5,8
Средн.	209,7	2,44	11 748,2	3,0	6,2	3,1	14,5	15,3	10,2
Макс.	230,5	2,54	13 779,6	4,1	10,5	6,8	17,5	19,9	13,0

Петротип 2 «трахириолит» изучен в скважинах X₃, X₄ и X₇. Является эффузивным аналогом субщелочных гранитов и представляет собой породы умеренно-щелочного ряда. В отличие от риолитов, содержит повышенное количество ПШ и PL до 40–45 % от общего объема породы, содержание кварца не превышает 55–60 %. Текстура пористая, структура стекловатая, редко встречаются порфировые вкрапленники.

По макроописанию скважин на территории Кирилкинской площади трахириолиты представляют трещиноватые, карбонатизированные породы. Основная масса пород представлена смесью SiO₂ и ПШ (≈ 80 –85 %), карбонатов (8–10 %) и вторичных минералов — каолинита и хлорита (≈ 5 –7 %).

За счет повышенного содержания в трахириолитах Кирилкинской площади измененных полевых шпатов, в отличие от других петротипов (таких как «риолит», «туф риолита» и «гранофир»), породы имеют в своем составе повышенное содержание глинистого материала, который по результатам РСА на 80 % представлен вторичным каолинитом, что сказывается на ФЕС пород.

По данным РЭМ поровое пространство трахириолитов составляет от 8 до 16 % от общего объема породы и представлено внутризерновыми порами растворения по полевым шпатам (0,01–0,06 мм) и многочисленными ветвящимися микротрещинами, частично заполненными глинистым, карбонатным и хлоритовым материалом. Раскрытость (апертура) флюидо-проводящих трещин изменяется от 0,001 до 0,25 мм.

Согласно фильтрационно-емкостным определениям по керну петротип «трахириолиты» на территории Кирилкинской площади представлен двумя типами коллекторов: а) низкопроницаемыми $(0,1-1) \cdot 10^{-3}$ мкм² и б) относительно высокопроницаемыми (для ДЮК) $(1-10) \cdot 10^{-3}$ мкм² (рис. 4).

Минерально-геохимической особенностью трахириолитов по данным РФА является достаточно высокое содержание оксидов калия (K₂O) и алюминия (Al₂O₃) на фоне низкого количества оксидов железа (Fe₂O₃).

По параметрам ГИС породы петротипа «трахириолит» характеризуются показателями, приведенными в таблице 3.

Петротип 3 «туф трахириолита» изучен в скважинах X₂, X₄, X₁₁ и X₁₂. По петрохимическому составу такие породы являются пирокластическим аналогом трахириолитов. Несмотря на схожесть петросостава, в керне скважин туфы трахириолитов отличаются цветом, более пористой текстурой и скрытокристаллической структурой.

Характеристика трахириолита

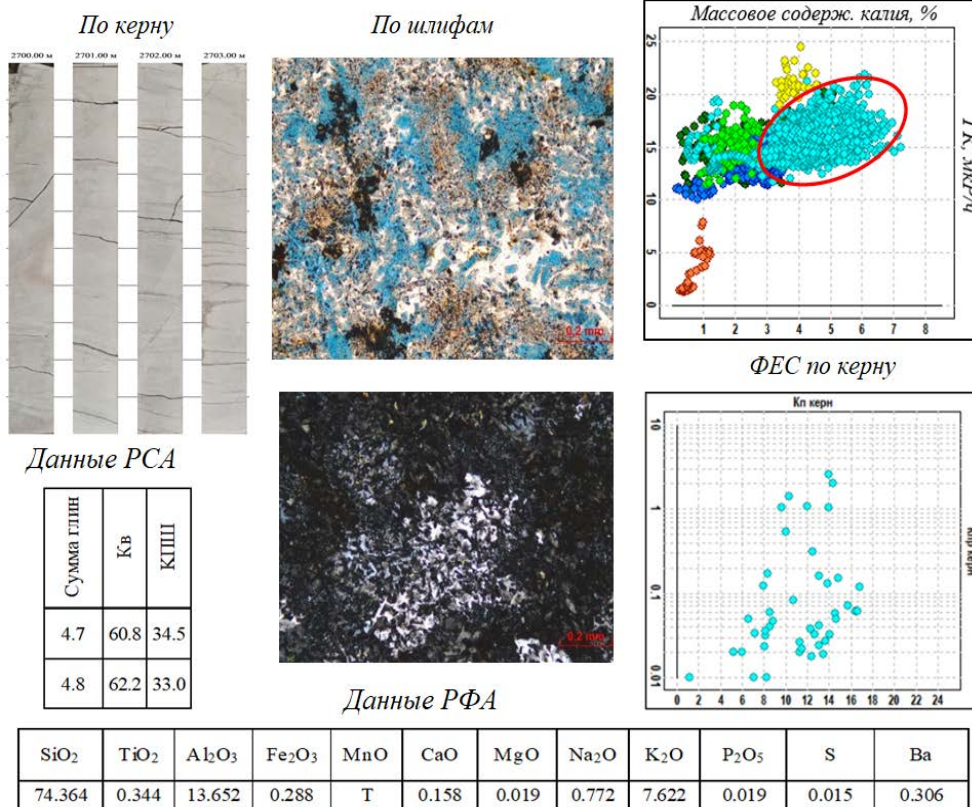


Рис. 4. Характеристика петротипа «трахириолит»

Таблица 3

Разброс значений параметров ГИС для петротипа «трахириолит»

Значение	ДТР	ГГК-П	Al	Калий	Торий	Уран	GK	WS	КпЯМК
Мин.	194,5	2,39	9 929,7	0,8	9,8	0,8	12,8	5,5	3,7
Средн.	219,8	2,50	11 469,5	3,9	12,8	4,9	15,7	15,8	11,4
Макс.	251,5	2,61	12 933,3	5,8	17,8	10,3	18,7	29,5	16,1

В керне скважин Кирилкинской площади туфы трахириолитов представлены породами зеленовато-серого цвета, сильнопористыми, состоящими из литокластов (80–85 %) и цементирующей массы (20–25 %).

По описанию шлифов основная масса породы представлена литокластами неправильной формы размером 0,1–0,3 мм, реже до 0,4–0,5 мм, состоящими из спаянных зерен кварца и ПШ. Большинство литокластов имеют расплывчатые контуры и сливаются с цементирующей массой, что указывает на активную проработку пород гидротермально-метасоматическими процес-

сами. В породах часто встречаются крупные миндалины и стяжения железистого карбоната (сидерита). Цементирующая масса также представлена SiO₂-ППШ составом тонкокристаллической размерности, часть цемента состоит из тонкодисперсной смеси агрегата каолинита и серицита (рис. 5).

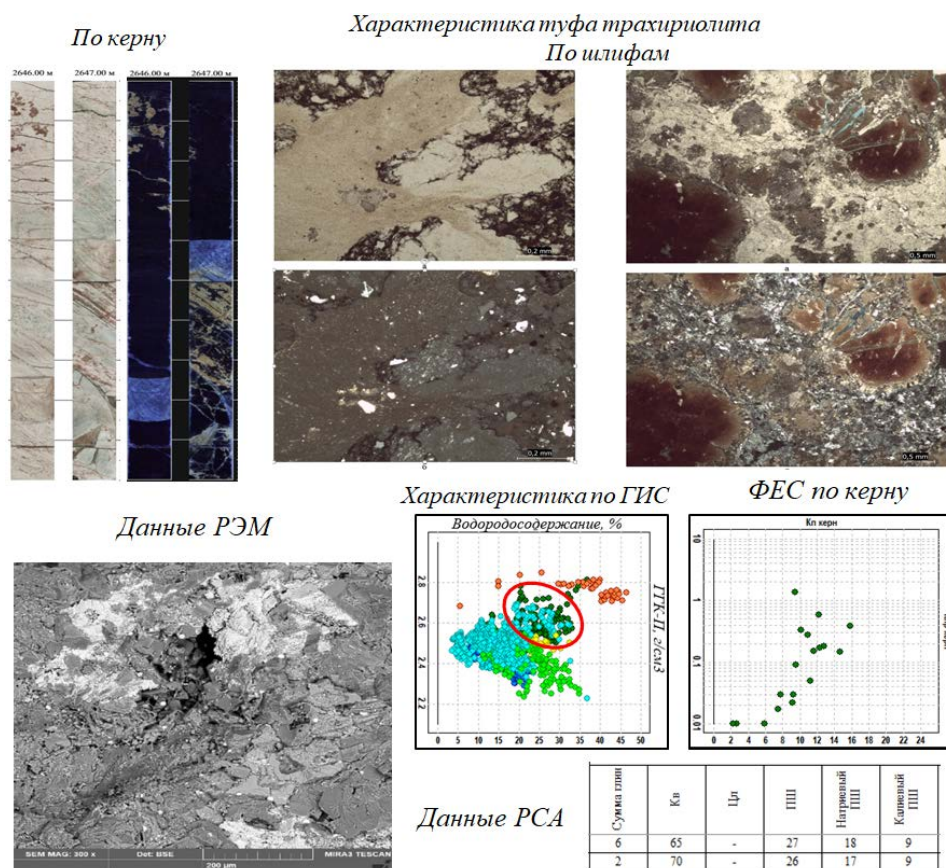


Рис. 5. Характеристика петротипа «туф трахириолита»

Основной объем пустотного пространства пород представлен внутризерновыми порами (0,05 мм) выщелоченных полевых шпатов. В единичных случаях объем увеличивают межагрегатные каверны, частично заполненные вторичным каолинитом и серицитом.

Определенный вклад в емкость коллекторов вносят микротрещины, раскрытость которых не превышает 0,2 мм. При этом, судя по распределению значений на зависимости «Кп-Кпр» по керну, именно их наличие, скорее всего, при разбросе пористости 11–16 % увеличивает проницаемость коллекторов этого петротипа до $1 \cdot 10^{-3}$ мкм² (см. рис. 5).

По параметрам ГИС породы петротипа «туф трахириолита» характеризуются следующими показателями, приведенными в таблице 4.

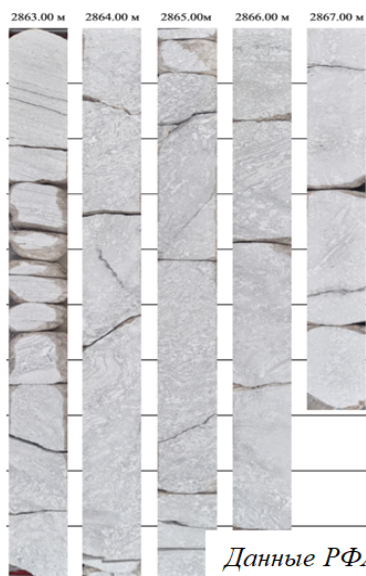
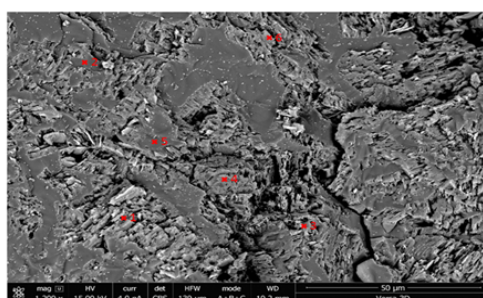
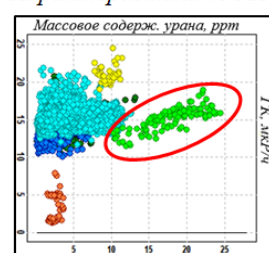
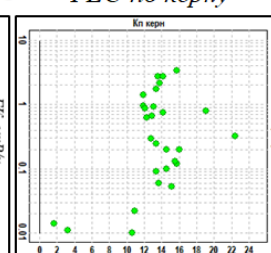
Таблица 4

Разброс значений параметров ГИС для петротипа «туф трахириолита»

Значение	DTP	ГГК-П	АI	Калий	Торий	Уран	GK	WS	КпЯМК
Мин.	206,9	2,45	10 995,6	0,7	4,8	1,9	12,6	14,2	1,1
Средн.	221,0	2,53	11 460,2	2,6	10,7	3,4	15,2	20,0	9,8
Макс.	235,4	2,81	11 921,1	4,2	13,5	11,0	17,9	34,2	14,5

Петротип 4 «риолит» изучен в скважинах X₈, X₁₁, X₁₂. Относится к классу кислых магматических эффузивных пород. Основная масса представлена вулканическим стеклом, состоящим на 90 % из кремнезема (SiO₂) и на 10 % из порфировых вкрапленников кварца, ПШ и PL. В породе часто встречаются сферолиты ПШ радиально-лучистого строения. Особенностью риолитов является наличие в керне ярко выраженной флюидалной структуры, свидетельствующей о формировании пород в виде потоков лавы.

По описанию керна скважин Кирилкинской площади риолиты представлены породами светло-серого цвета с флюидалной структурой, с разнонаправленной системой мелких трещин, залеченных вторичным SiO₂. Основная масса пород скрытокристаллическая, порфировые вкрапленники (~ 5 %) представлены измененными кристаллами ПШ (рис. 6).

Характеристика риолита по керну*Данные РФА**Данные РЭМ**Характеристика по ГИС**ФЕС по керну*

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	Ba
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
71.454	0.291	16.306	2.193	0.025	0.284	0.078	1.825	3.937	0.028	0.016	T
76.081	0.282	13.737	0.966	0.013	0.268	T	3.153	3.460	0.020	0.008	0.039
75.754	0.285	13.496	0.436	0.015	0.760	T	4.185	3.175	T	0.012	0.047
69.189	0.326	16.624	3.235	0.040	0.231	0.107	1.489	4.151	0.025	0.006	0.037

Рис. 6. Характеристика петротипа «риолит»

По данным РЭМ основная масса риолитов сложена микросферолитами кварц-полевошпатового состава и составляет 81÷93 % от объема породы. Структура скрытокристаллическая, с порфировыми вкрапленниками ПШ, темноцветов и кристаллами кварца двух генераций. В общей массе зерна кварца образуют гранофировые срастания с ПШ, плагиоклазы встречаются редко. Редкие зерна темноцветов (пироксенов, биотита) полностью замещены железистым хлоритом и карбонатом. Встречаются редкие зерна пирита размером 1÷5 мкм.

Как и в других эффузивных породах Кирилкинской площади, в риолитах рассматриваемой территории преобладает межагрегатная и зерновая пористость, сформированные за счет процессов гидротермального выщелачивания пород. Размеры пор изменяются в широких пределах: 1–15 мкм, при этом у 70 % пор средние размеры составляют 7–9 мкм. Полевые шпаты щелочные (К-Na), часто кальцитизированы, что приводит к образованию вторичной пористости.

Минеральный каркас пород разбит многочисленными трещинами, часть из которых залечена карбонатным материалом (зерна кальцита в срастании с сидеритом размером 0,05÷0,2 мм образуют агрегаты размером 1,5–2 мм), апертура микротрещин не превышает 0,07÷0,25 мм.

По геохимическим критериям РФА почти все риолиты характеризуются высокими значениями SiO_2 (70–75 %), Al_2O_3 (15–17 %) и Fe_2O_3 (2–3 %) на фоне пониженных показателей TiO_2 (< 0,3 %) и CaO (0,2 %). Особенностью риолитов, подвергшихся вторичным изменениям, является снижение до 13 % Al_2O_3 , до 0,9 % Fe_2O_3 и увеличение до 3–4 % Na_2O (см. рис. 6).

Согласно фильтрационно-емкостным определениям по керну петротип «риолиты» на территории Кирилкинской площади представлен двумя типами коллекторов: а) низкопроницаемыми $(0,1-1) \cdot 10^{-3}$ мкм² и б) относительно высокопроницаемыми $(1-10) \cdot 10^{-3}$ мкм² (см. рис. 6).

По параметрам ГИС породы петротипа «риолит» характеризуются следующими показателями, приведенными в таблице 5.

Таблица 5

Разброс значений параметров ГИС для петротипа «риолит»

Значение	ДТР	ГГК-П	АІ	Калий	Торий	Уран	GK	WS	КпЯМК
Мин.	199,1	2,33	9 497,6	1,2	7,2	15,2	13,3	14,2	11,1
Средн.	236,2	2,42	10 421,8	1,8	10,7	18,6	15,2	22,0	16,5
Макс.	265,1	2,51	12 425,0	2,1	12,4	22,7	17,2	28,0	20,7

Петротип 5 «туф риолита» изучен в скважине X_{10} . По петрохимическому составу является пирокластическим аналогом риолитов.

Согласно макроописанию керна Кирилкинской площади туфы риолитов представлены литокластической породой зеленоватого цвета, сильно

хлоритизированной, с включениями единичных зерен окисленного пирита (FeS_2), с редкими включениями пористых обломков пемзы и игнимбринов с рваными краями (игнимбрины часто пористые и каолинитизированные).

По данным РЭМ в породе отмечаются тонкие межагрегатные и межчастичные открытые поры размером 0,5–1,0 мкм (с единичными сечениями до 2–6 мкм), которые часто изолированы друг от друга (рис. 7).

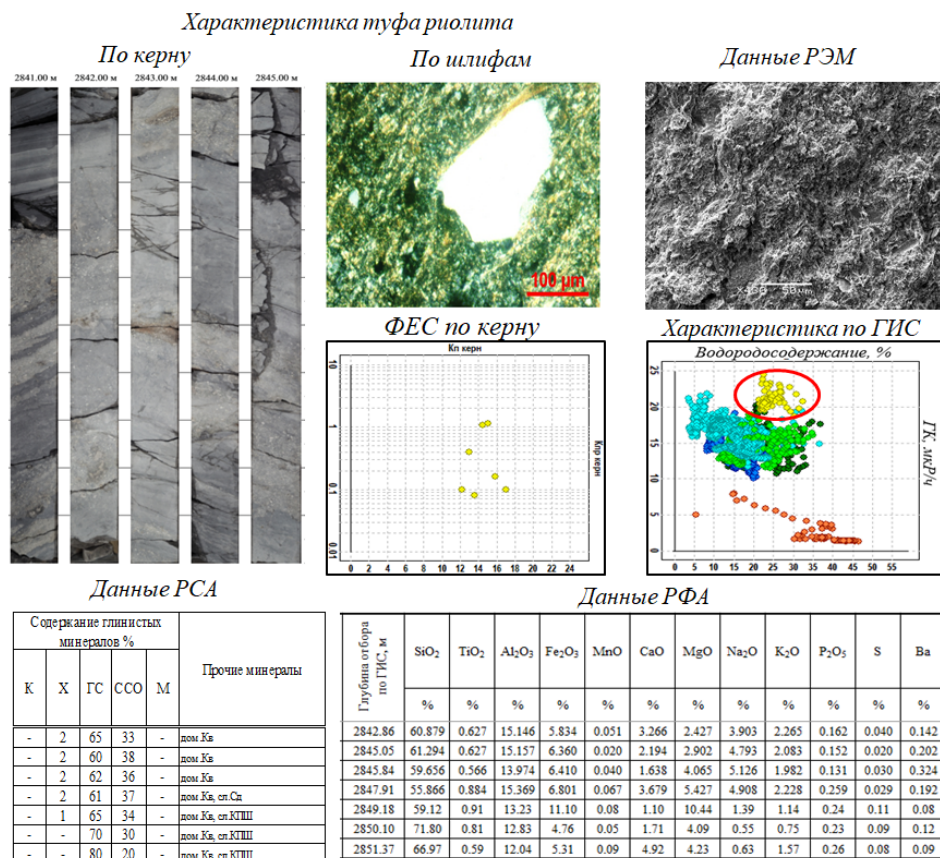


Рис. 7. Характеристика петротипа «туф риолита»

Частично поровое пространство туфов риолитов залечено глинистым материалом, состоящим по данным РСА на 60–70 % из гидрослюд (предположительно доминирует серицит), 25–30 % приходится на смешаннослойные силикаты и только по 5 % — на железистый хлорит и каолинит.

По геохимическим критериям РФА все образцы туфов риолитов характеризуются невысокими значениями SiO_2 (58–62 %), K_2O (1–2 %) на фоне повышенных показаний Al_2O_3 (15 %), Fe_2O_3 (5–6 %) и CaO (1–3 %) (см. рис. 7).

Согласно фильтрационно-емкостным определениям по керну петротип «туф риолита» на территории Кирилкинской площади представлен низкопроницаемыми коллекторами ($(0,1-1) \cdot 10^{-3}$ мкм²).

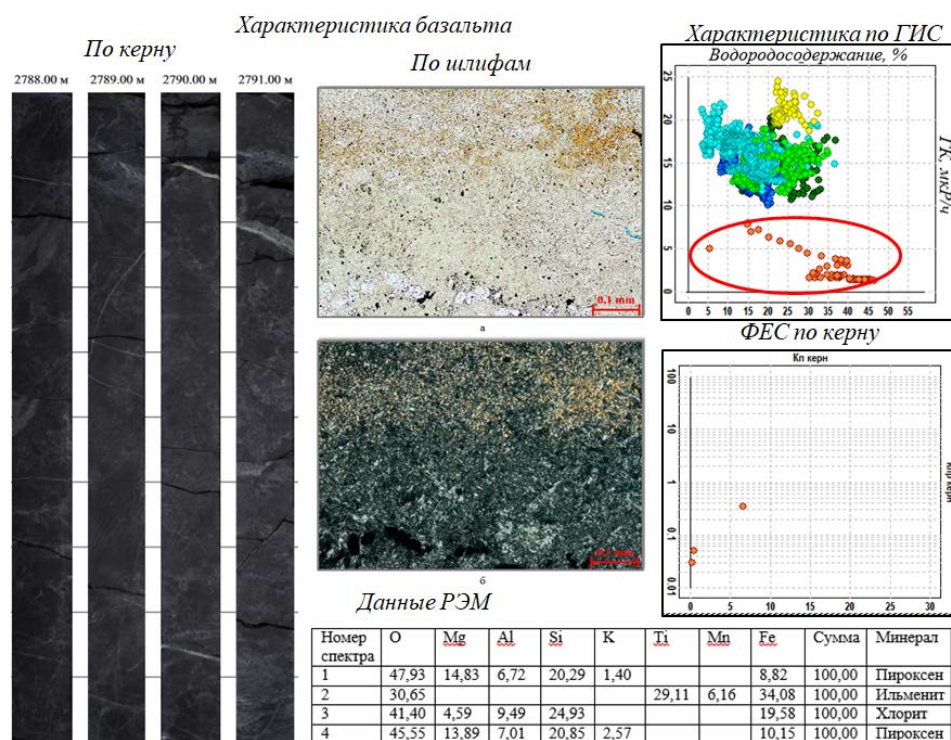
По параметрам ГИС породы петротипа «туф риолита» характеризуются следующими показателями, приведенными в таблице 6.

Таблица 6

Разброс значений параметров ГИС для петротипа «туф риолита»

Значение	DTP	ГГК-П	AI	Калий	Торий	Уран	GK	WS	КпЯМК
Мин.	272,5	2,49	8 510,3	3,6	17,9	9,4	20,4	22,9	7,4
Средн.	279,4	2,52	8 928,3	3,8	18,7	10,0	21,4	24,3	8,8
Макс.	293,0	2,53	9 152,5	4,0	19,7	10,7	22,1	25,0	11,0

Петротип 6 «базальт» изучен в скважине Х₉. Базальт — магматическая порода основного состава. Структура — скрытокристаллическая, иногда порфировая.

**Рис. 8. Характеристика петротипа «базальт»**

Основная масса пород и вкрапленники имеют однотипный состав, представлены конгломератом темноцветов (оливином, клинопироксеном) (~ 55–65 %) и плагиоклазов (~ 35–45 %). Текстура плотная, миндалекаменная, миндалины заполнены ПШ, 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 неколлекторам.

По описанию керна базальт в скважине X₉ сложен плотной микро-чешуйчатой массой пироксенового состава. Поры открытого типа отсутствуют. Порода разбита большим количеством мелких микротрещин, полностью залеченных карбонатным материалом (рис. 8).

По параметрам ГИС породы петротипа «базальт» характеризуются следующими показателями, приведенными в таблице 7.

Таблица 7

Разброс значений параметров ГИС для петротипа «базальт»

Значение	DTP	ГГК-П	AI	Калий	Торий	Уран	GK	WS	КпЯМК
Мин.	188,9	2,65	13212,7	0,6	1,6	2,5	2,4	5,6	8,7
Средн.	189,6	2,71	13830,1	0,8	2,6	2,6	3,7	21,5	8,8
Макс.	190,3	2,77	14449,1	1,0	3,5	2,6	4,9	37,3	8,9

Прогноз петротипов ДЮК по ГИС с использованием нейронных сетей Кохонена

Последние 10 лет в ПАО «НК «Роснефть» для решения разных нефтепоисковых задач сейсмогеологического, фациального и петрофизического моделирования активно применяются нейросети как современный инструмент внедрения процессов цифровизации в геологоразведку [8, 9].

Одним из широко применяемых алгоритмов нейронных сетей, которые используют для выявления многомерных неявных связей между геолого-геофизическими данными, являются *самоорганизующиеся карты Кохонена* [10].

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. Как правило, для такого типа нейросетевого моделирования используются два алгоритма обучения — «с учителем» и «без учителя» и два слоя данных — «входной» и «выходной» [11–13].

В данной работе технически моделирование выполнялось в модуле IPSOM ПО Techlog компании Schlumberger в режиме «без учителя». «Входным» слоем служили данные методов ГИС — ГК, НКТ, ГГК-П, DTP, 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». «Тестирование» моделей петротипов проведено на пяти скважинах, которые имеют более-менее полный набор данных по керновому материалу, но ограниченный комплекс каротажных кривых. Так как в работе участвовали скважины не только с полным набором ГИС, но и с ограниченным комплексом, для корректного нейросетевого моделирования было подобрано минимальное количество прогнозируемых классов, а именно шесть макропетротипов, описанных выше.

Для того чтобы определиться с возможностью их выделения по параметрам ГИС, была построена серия кроссплотов «ГИС-ГИС» (см. рис. 2), анализ которых позволил установить следующее. Несмотря на то, что большая часть прогнозируемых петротипов имеет близкие геофизические характеристики (перекрытия), сочетание параметров части методов ГИС позволяет обособить в самостоятельные кластеры основные петротипы, которые чаще других встречаются в разрезах. Например, по всем анализируемым параметрам ГИС однозначно выделяются петротипы «базальт» и «туф риолита». Также довольно уверенно по значениям СГК-U локализуется петротип «риолит», по данным СГК-Th — петротипы «гранофир» и «трахириолит». Из всех петротипов только «туф трахириолита» оказался сложно прогнозируемым, из-за того, что на Кирилкинской площади эти породы имеют большие перекрытия параметров ГИС с другими петротипами (см. рис. 2).

Для того чтобы выполнить нейросетевое моделирование, на основе кластеризации параметров ГИС входного слоя были сформированы матрицы векторных диаграмм для каждого выделенного петротипа (рис. 9 А).

Графически каждая векторная диаграмма представляет собой спектр набора каротажных откликов восьми параметров ГИС и их сочетаний для всех шести петротипов, выделенных для Кирилкинской площади.

Согласно карте Кохонена, приведенной на рисунке 9 Б, для прогноза таких петротипов, как «гранофир» и «трахириолит», наибольший вес в кластер каждого петротипа внесли такие параметры, как ГГК-П, AI и общая радиоактивность (GK) пород. Для прогноза петротипа «базальт», помимо упомянутых ГГК-П и AI, важный вклад внес показатель WS (водородосодержание), в то время как для петротипа «риолит» дополнительный вес в обособление кластера внесли параметры кривых радиоактивности пород по калию (СГК-K) и урану (СГК-U).

В процессе нейросетевого моделирования каждой векторной диаграмме был присвоен преобладающий индекс. По разрезу интервала ДЮК всех скважин с шагом 0,2 м рассчитана вероятность встречи каждого из шести индексов в точках глубин в пределах каждого петротипа по ГИС, подтвержденного керновым материалом (рис. 9 В).

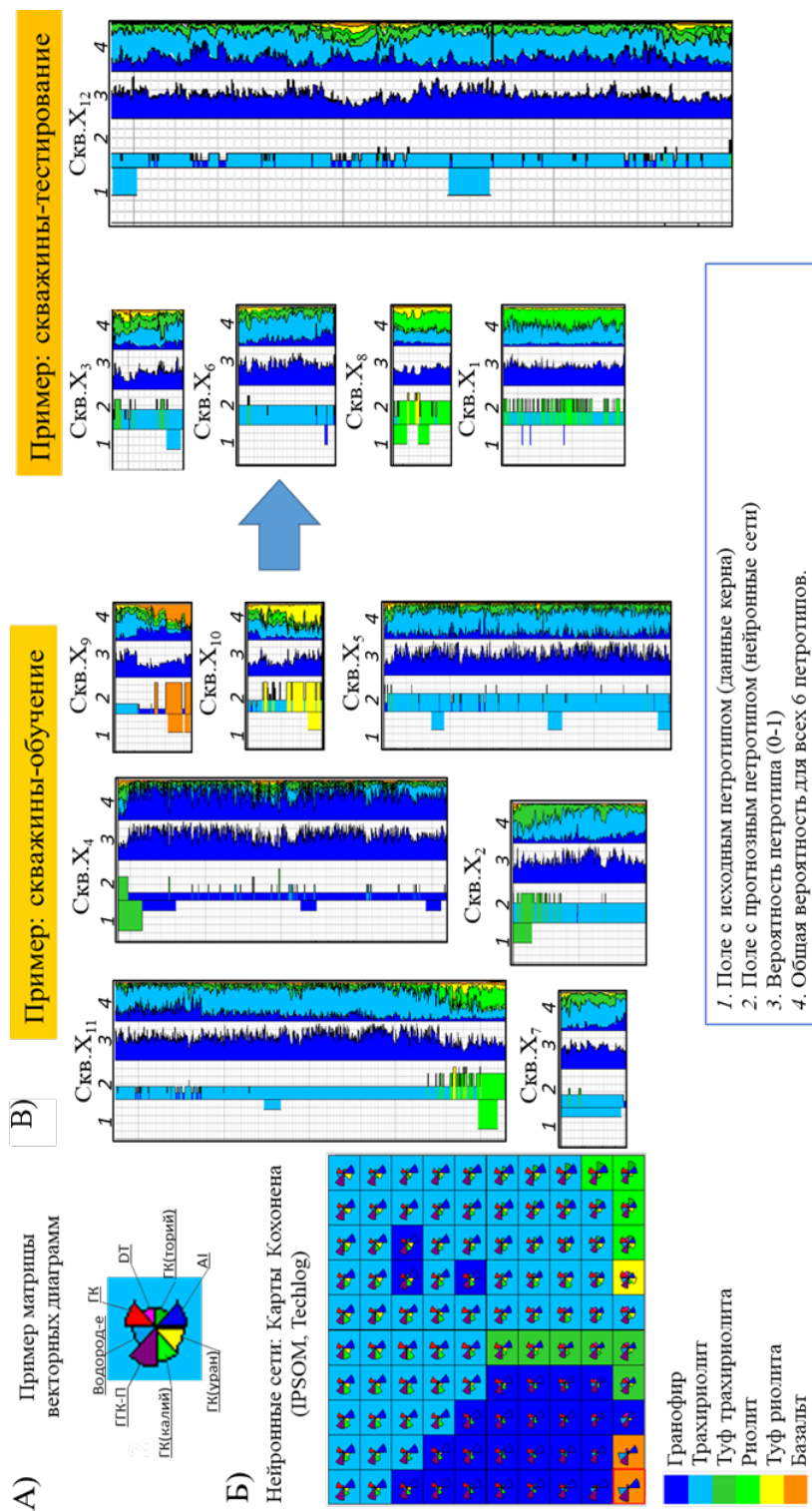


Рис. 9. Нейросетевое моделирование петротипов доюрского основания Кириллинской площади на основе карт Кохонена

Анализ результатов нейросетевого моделирования, выполненного по скважинам Кирилкинской площади, показал, что для восстановления общего состава пород ДЮК в виде петротипов с помощью карт Кохонена вероятность прогноза петротипов по ГИС, выделенных по керновым данным, в среднем составила 65 % при погрешности ± 5 %.

Из всех скважин, которые участвовали в моделировании, только в скважине X₁, имеющей ограниченный комплекс ГИС (НКТ, ГК, ДТР), прогноз петротипов подтвердить не удалось. Причиной, предположительно, явилось перекрытие по значениям большинства параметров ГИС, участвующих в типизации, и слабая освещенность интервала ДЮК кернавым материалом.

Выводы

В статье приведены опыт типизации пород доюрского основания Кирилкинской площади (Уватский район юга Тюменской области) по кернавым материалам и результаты прогноза петротипов, выделенных по данным ГИС с помощью нейросетевого моделирования на основе карт Кохонена. Сформулированы следующие основные выводы:

1) для корректного нейросетевого моделирования петротипов ДЮК на основе карт Кохонена в скважинах Кирилкинской площади выделено шесть петротипов: гранофиры, риолиты, туфы риолитов, трахириолиты, туфы трахириолитов и базальты; первые пять отнесены к коллекторам с различными емкостными свойствами, один петротип — «базальт» отнесен к неколлектору;

2) анализ кросс-плотов «ГИС-ГИС» в интервале выделенных петротипов показал, что большая часть прогнозируемых петротипов имеет близкие геофизические характеристики (перекрытия), однако при сочетании отдельных методов ГИС часто встречаемые в разрезе петротипы хорошо выделяются в самостоятельные кластеры;

3) вероятность прогноза петротипов пород ДЮК Кирилкинской площади по имеющемуся комплексу ГИС с помощью нейросетевого моделирования на основе карт Кохонена в среднем составила 65 %.

Список источников

1. Ресурсы юга Западной Сибири / С. А. Моисеев, О. В. Елишева, С. В. Рыжкова, Л. С. Грекова. – Текст : непосредственный // Нефтегазовая вертикаль. – 2005. – № 7. – С. 38–41.
2. Зубков, М. Ю. Вторичные коллекторы в доюрском комплексе Урьевского месторождения / М. Ю. Зубков, А. Ш. Ситдилов. – Текст : непосредственный // Геология нефти и газа. – 1994. – № 4. – С. 5–9.

3. Беспалова, С. Н. Оценка влияния разломов на геологические особенности залежей и продуктивность коллекторов газовых месторождений Западной Сибири / С. Н. Беспалова, О. В. Бакуев. – Текст : непосредственный // Геология нефти и газа. – 1995. – № 7. – С. 16–21.
4. Геращенко, А. А. Петрографические и геохимические особенности пород ДЮК Тевлинско-Русскинского месторождения / А. А. Геращенко. – Текст : непосредственный // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО : сборник трудов 7-й научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО», Ханты-Мансийск, 02–05 декабря 2003 г. – Ханты-Мансийск : Издательский дом «ИздатНаукаСервис». – С. 229–232.
5. Ухлова, Г. Д. Построение геологических моделей продуктивных пластов неоккома центральной части Западно-Сибирской НГП по комплексу атрибутов сейсмической записи / Г. Д. Ухлова, С. Н. Варламов, И. М. Кос. – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2006. – № 10. – С. 78–91.
6. Бекренёв, Р. К. Тестирование оптимизации алгоритма AVAZ инверсии на синтетических данных / Р. К. Бекренёв, Г. А. Дугаров, Т. В. Нефедкина. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-2-1-354-361. – Текст : непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 2, № 1. – С. 354–361.
7. Мармалевский, Н. Я. Примеры применения миграции дуплексных волн для изучения зон трещиноватости / Н. Я. Мармалевский, И. Ю. Хромова, З. В. Горняк. – Текст : непосредственный // Збірник наукових прац УкрДГЗІ. – 2011. – № 4. – С. 162–170.
8. Применение методов машинного обучения для поиска пропущенных продуктивных интервалов и прогноза фильтрационно-емкостных свойств / Ю. Д. Кантемиров, А. В. Хабаров, И. О. Ошняков [и др.]. – Текст : непосредственный // Каротажник. – 2021. – № 8 (314). – С. 17–26.
9. Современные возможности машинного обучения при интерпретации данных геофизических исследований скважин / К. К. Измайлов, М. С. Новикова, М. В. Дмитриевский [и др.]. – Текст : непосредственный // Каротажник. – 2021. – № 8 (314). – С. 5–16.
10. 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.
11. Родина, С. Н. Применение нейросетевого подхода при интерпретации каротажных данных / С. Н. Родина, К. Ю. Силкин. – Текст : непосредственный // Вестник Воронежского государственного университета. Серия : Геология. – 2007. – № 2. – С. 184–188.
12. Inversion of nuclear well-logging data using neural networks / E. Aristodemou, C. Pain, C. de Oliveira [et al.]. – DOI 10.1111/j.1365-2478.2005.00432.x. – Direct text // Geophysical Prospecting. – 2005. – Vol. 53, Issue 1. – P. 103–120.

13. Lithofacies identification using multiple adaptive resonance theory neural networks and group decision expert system / H.-Ch. Chang, D. C. Kopaska-Merkel, H.-Ch. Chen, S. R. Durrans. – DOI 10.1016/S0098-3004(00)00010-8. – Direct text // Computer & Geoscience. – 2000. – Vol. 26, Issue 5. – P. 591–601.

References

1. Moiseev, S. A., Elisheva, O. V., Ryzhkova, S. V., & Grekova, L. S. (2005). Resursy yuga Zapadnoy Sibiri. Neftegazovaya vertikal', (7), 2005, pp. 38-41. (In Russian).
2. Zubkov, M. Yu., & Sitdikov, A. Sh. (1994). Vtorichnye kollektory v doymorskoy kompleksе Ur'evskogo mestorozhdeniya. Geologiya nefti i gaza, (4), pp. 5-9. (In Russian).
3. Bespalova S. N., & Bakuev, O. V. (1995). Evaluation of fault effect on geological features of pools and gas fields reservoir productivity in Western Siberia. Geologiya nefti i gaza, (7), pp. 16-21. (In Russian).
4. Gerashchenko, A. A. (2003). Petrograficheskie i geokhimicheskie osobennosti porod DYUK Tevlinsko-Russkinskogo mestorozhdeniya. Puti realizatsii neftegazovogo potentsiala KhMAO: sbornik trudov 7-y nauchno-prakticheskoy konferentsii "Puti realizatsii neftegazovogo potentsiala KhMAO". Khanty-Mansiysk, December, 02-05, 2003. Khanty-Mansiysk, IzdatNaukaServis Publ., pp. 229-232. (In Russian).
5. Ukhlova, G. D., Varlamov, S. N., & Kos, I. M. (2006). Postroenie geologicheskikh modeley produktivnykh plastov neokoma tsentral'noy chasti Zapadno-Sibirskoy NGP po kompleksu atributov seismicheskoy zapisi. Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields, (10), pp. 78-91. (In Russian).
6. Bekrenev, R. K., Dugarov, G. A., & Nefedkina, T. V. (2021). Testing of an optimization algorithm for AVAZ inversion on synthetic dataset. Interexpo GEO-Siberia, 2(1), pp. 354-361. (In Russian). DOI: 10.33764/2618-981X-2021-2-1-354-361
7. Marmalevsky, N. Ya., Khromova, I. Yu., & Gorniyak, Z. V. (2011). Examples of the use of duplex wave migration for the study of fracture zones. Zbirnik naukovikh prats UkrDGZI, (4), pp. 162-170. (In Russian).
8. Kantemirov, Yu. D., Khabarov, A. V., Oshnyakov, I. O., Koshelev, M. B., Akinshin, A. V., & Kalabin, A. A. (2021). Using methods of computer-aided learning to search for skipped intervals and forecast filtration and capacity properties. Karotazhnik, (8(314)), pp. 17-26. (In Russian).
9. Izmailov, K. K., Novikova, M. S., Dmitrievsky, M. V., Kantemirov, Yu. D., & Akinshin, A. V. (2021). Up-to-date opportunities of computer-aided learning in well logging data interpretation. Karotazhnik, (8(314)), pp. 5-16. (In Russian).
10. Kohonen, T. (2001). Self-organizing maps. 3rd edition. Berlin [et al.], Springer, 502 p. (In English). DOI: 10.1007/978-3-642-56927-2
11. Rodina, S. N., & Silkin, K. Yu. (2007). Application of artificial neural networks for well-log data interpretation. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology, (2), pp. 184-188. (In Russian).
12. Aristodemou, E., Pain, C., Oliveira, C., Goddard, T., & Harris, Ch. (2005). Inversion of nuclear well-logging data using neural networks. Geophysical Prospecting, 53(1), pp. 103-120. (In English). DOI: 10.1111/j.1365-2478.2005.00432.x

13. Chang, H.-Ch., Kopaska-Merkel, D. C., Chen, H.-Ch., & Durrans, S. R. (2000). Lithofacies identification using multiple adaptive resonance theory neural networks and group decision expert system. *Computer & Geoscience*, 26(5), pp. 591-601. (In English). DOI: 10.1016/S0098-3004(00)00010-8

Информация об авторах

Елишева Ольга Владимировна,
эксперт по геологии, ООО «Тюменский
нефтяной научный центр», г. Тюмень,
ovelisheva@tnnc.rosneft.ru

Шилова Юлия Владимировна,
заведующий сектором, ООО «Тюменский
нефтяной научный центр», г. Тюмень

Сидоров Дмитрий Анатольевич,
эксперт, ООО «Тюменский нефтяной
научный центр», г. Тюмень

Мельникова Мария Николаевна,
главный специалист, ООО «Тюменский
нефтяной научный центр», г. Тюмень

Information about the authors

Olga V. Elisheva, Expert in Geology,
Tyumen Petroleum Scientific Center
LLC, Tyumen, ovelisheva@tnnc.rosneft.ru

Yulia V. Shilova, Chief Sector
(petrochysicist), Tyumen Petroleum Scientific
Center LLC, Tyumen

Dmitry A. Sidorov, Expert, Tyumen
Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen

Maria N. Melnikova, Chief Specialist,
Tyumen Petroleum Scientific
Center LLC, Tyumen

Статья поступила в редакцию 12.09.2022; одобрена после рецензирования 16.09.2022; принята к публикации 19.09.2022.

The article was submitted 12.09.2022; approved after reviewing 16.09.2022; accepted for publication 19.09.2022.