

УДК 550.832

Э. Р. Хаматдинова
ООО "Нефтегазгеофизика"

ЛИТОЛОГИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ЭФФУЗИВНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПО ДАННЫМ ГИС

Приведены количественные и качественные критерии литологического расчленения вулканогенных разрезов Западной Сибири, проанализирована эффективность стандартного комплекса ГИС при решении данной задачи.

Ключевые слова: эффициентные отложения, литотипы пород, керновые данные, геофизические методы.

Вулканогенные коллекторы в разрезах Западной Сибири

При разведочном бурении пород фундамента доюрского возраста в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции выявлены значительные залежи нефти в вулканогенных коллекторах. Доюрский эффициентный комплекс датируется триасово-пермским возрастом.

По результатам исследования керна вулканогенные породы представлены мощной толщей эффициентных коллекторов кислого, среднего и основного состава. Кислые породы представлены переслаиванием трахитовых, дацитовых, риолитовых, риодацитовых лав, туфов, лавобрекчий, риодациита и трахириодациита, кластолов, перлита, пемза и гидротермально преобразованных пород типа кластика. Основные породы в основном представлены базальтами и амфиболитами.

Первоочередной задачей геофизических исследований скважин (ГИС) при разведочном и эксплуатационном бурении является разделение пород на литотипы с целью выявления перспективных интервалов для освоения и разработки. Решение поставленной задачи производится на основе лабораторных определений физических свойств керна пород и данных ГИС. Зная (по керну) минералогический состав и физические свойства породообразующих минералов исследуемых пород, можно построить палеточные зависимости (для методов определения по ГИС литологии и пористости – АК, ГГК, ННК) и определить физические свойства этих пород (акустические,

радиоактивные). По полученным данным рассчитывается процентное содержание каждого литотипа.

В отличие от осадочных эфузивные породы, обладающие коллекторскими свойствами, имеют близкий минералогический состав и различаются в большинстве случаев по структурным признакам, что не дает возможности провести литологическое расчленение разреза, используя стандартный комплекс. Однако разнообразие структуры эфузивных пород взаимосвязано с различием их физических свойств, и решение поставленной задачи возможно расширенным комплексом ГИС.

Возможности литологической диагностики эфузивных коллекторов по петрофизическим данным

Необходимость литологического расчленения вскрываемой толщи разреза связана с наличием продуктивных коллекторов в определенных типах пород, имеющих сложное строение. Минералогический состав эфузивных пород и разнообразие морфологии их емкостного пространства достаточно детально определены лабораторными исследованиями керна [5].

По результатам исследования шлифов можно сделать вывод о том, что емкостные пространства лав и туфов отличаются. В лавах присутствуют емкости разгазирования (первичные) и емкости перлитизации и выщелачивания (вторичные). Перлитизация ведет к образованию трещин в породе, а процессы выщелачивания носят гидротермальный характер и ведут к образованию каверн. Таким образом, в лавах емкостное пространство представлено трещинами либо трещинами и кавернами. Наряду с этим в определенных типах пород отмечается наличие закрытых пор и залеченных вторичными минералами трещин. В туfovых разностях емкостное пространство формируется за счет неплотной упаковки частиц и их спекания. Вторичные процессы в этих породах протекают более интенсивно, чем в других. В шлифах наблюдаются емкости разной формы, а также следы выщелачивания, за счет чего поры становятся фильтрующими.

В силу ограниченности стандартного комплекса ГИС возникла необходимость использования для литологического расчленения эфузивных пород различных приемов обобщения результатов ГИС,

данных анализа керна, а также математического моделирования методом Монте-Карло данных нейтрон-нейтронного каротажа.

Обобщены результаты исследований 2600 образцов керна и данные ГИС по 26 скважинам. Исследуемая толща составляла от 100 до 600 м. Рассматривались физические параметры, которые можно оценивать методами ГИС: это водородосодержание, общая и минералогическая плотности, скорости продольных и поперечных волн.

При отсутствии данных о водородосодержании образцов пород и определений акустических характеристик были проанализированы объемная и минералогическая плотности, определенные по керну. Результаты представлены на рис. 1. Относительно выдержаный состав кислых эфузивных пород определяет стабильность их минералогической плотности. Для всех разновидностей пород среднее значение минералогической плотности составляет $2,64 \text{ г}/\text{см}^3$.

При относительном постоянстве минерального состава эфузивов кислого состава [6] наблюдаются отличия по значениям объемной плотности в пределах $2,2-2,55 \text{ г}/\text{см}^3$ (в зависимости от литотипов) с

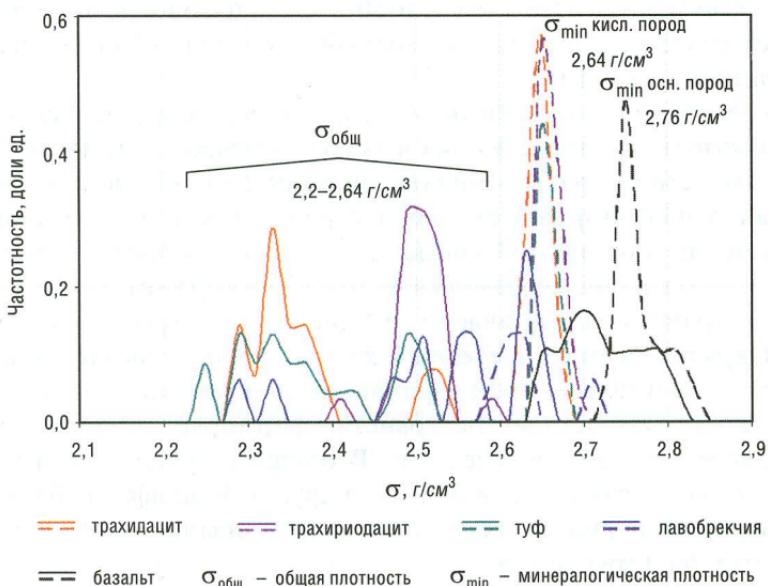


Рис. 1. Зависимости минералогической σ_{\min} и общей $\sigma_{\text{общ}}$ плотностей от минерального состава эфузивных пород [4]

частичным перекрытием диапазонов изменения. Это может быть связано со сложной структурой емкостного пространства и переслаиванием пород (что подтверждается описанием керна). Основные породы относятся к более плотным с минералогической плотностью $2,76 \text{ г}/\text{см}^3$, значения общей плотности изменяются в пределах $2,65\text{--}2,85 \text{ г}/\text{см}^3$.

Анализ керновых данных показывает, что параметр плотности может быть весьма информативен для решения поставленной задачи при условии, что будет учитываться структура емкостного пространства изучаемых пород.

Поскольку данных о водородосодержании исследованных образцов керна нет, для изучения пород, слагающих разрез, было проведено математическое моделирование по методу Монте-Карло. Получены распределения водородосодержаний для пород разного минералогического состава (табл. 1) и общей пористости (рис. 2, а). По значениям водородосодержания слагающие эфузивную толщу кислые породы различаются между собой незначительно, что объясняется близким химическим составом и практически одинаковой минералогической плотностью этих пород. Значительные отличия наблюдаются для средних и основных пород и для перлитов.

Дополнительно был выполнен статистический анализ для определения по литотипам пород средневероятных значений водородосодержания, полученных в результате ГИС (рис. 2, б). Для этого результаты обработки геофизических данных по разрезу сопоставлялись с результатами исследования керна (полевыми и лабораторными) и породы были разделены условно на пять литотипов.

Отмечается закономерное смещение значений водородосодержания в сторону увеличения от плотных к измененным породам в зависимости от типа и структуры емкостного пространства. С большей степенью вероятности возможно выделение неизмененных пород, не имеющих коллекторов. Можно сказать, что увеличение водородосодержания – качественный признак разделения пород по литотипам и коллекторским свойствам.

Лабораторных определений акустических свойств эфузивных пород не проводилось. Было проведено сопоставление (по 13 скважинам) значений интервальных времен продольной (Δt_P) и поперечной (Δt_S) волн со значениями общей пористости, рассчитанными по комплексу ННК-ГГК-АК (рис. 3). Из рис. 3 видно, что Δt_P и Δt_S для разных скважин отличаются друг от друга, что наводит на мысль о воз-

Основные усредненные характеристики изверженных (вулканических) пород [1, 2, 3]

Таблица 1

Порода	Плотность, g/cm^3	Химический состав, %						Структура	Цвет
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	Na_2O		
Минералогическая									
Риолит (липарат)	2,64	73	13	1,4	1	0,5	1,2	7,9	От белого до красного
Перлит (вулканическое стекло)	2,64	72	13	0,5	1	1	4,0	Вулканическое стекло 50–100 %	
Риодацит (гранит)	2,65	70	14,5	1,6	1,8	0,9	2	7,6	Массивная
Дацит	2,66	66	16,5	2,4	1,9	1,4	3,5	6,7	Стекловидная
Гранодиорит (аналог дацита в вулканических отложениях)	2,66	65	16,8	0,3–1,7	1,3–2,6	1,1	3,3	7,4	От крупно-зернистой до массивной
Трахит	2,63	63	16,5	2,9	1,8	0,8	2,0	10,3	Зеленовато-серый
Андезит	2,68	60	17	3,3	3,1	2,7	5,8	3,3	Белый, серый, желтоватый
CperAlIne ($\text{pH} \approx 7$)									Серо-черный с зеленым оттенком

Окончание таблицы 1

Порода	Плотность, г/см ³	Химический состав, %						Структура	Цвет
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O K ₂ O		
Минералогическая									
Диорит	2,92	57	16,6	3,1	4,4	4,1	6,7	3,2	Массивная
Долерит (в траппах)		48	до 17	5	4-9	7	8	3,5	Массивная
Базальт (аналог габбро, эфузионный аналог долерита)	2,78	49-46	15,7	5,4-3	6,4-9	6,2-9	9,0	4,5	Массивная
Ochobphile (pH < 7)									Темный до серого

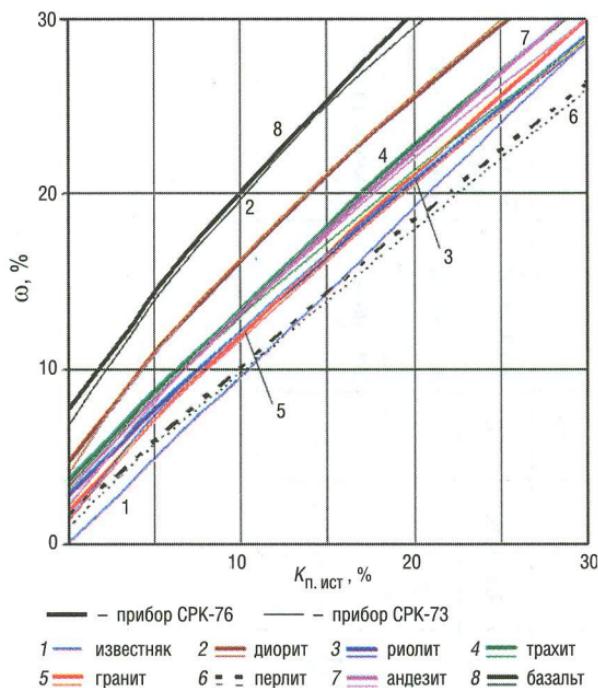


Рис. 2, а. Зависимость показаний аппаратуры типа СРК от состава и общей пористости эфузивных пород [4]

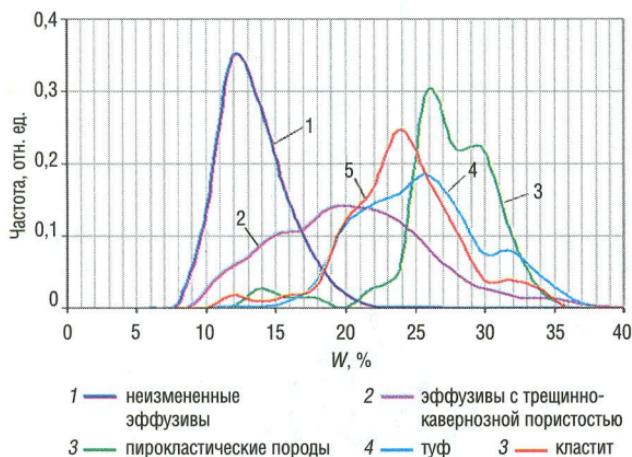


Рис. 2, б. Распределения водородосодержания (W) для различных литотипов кислых эфузивных пород

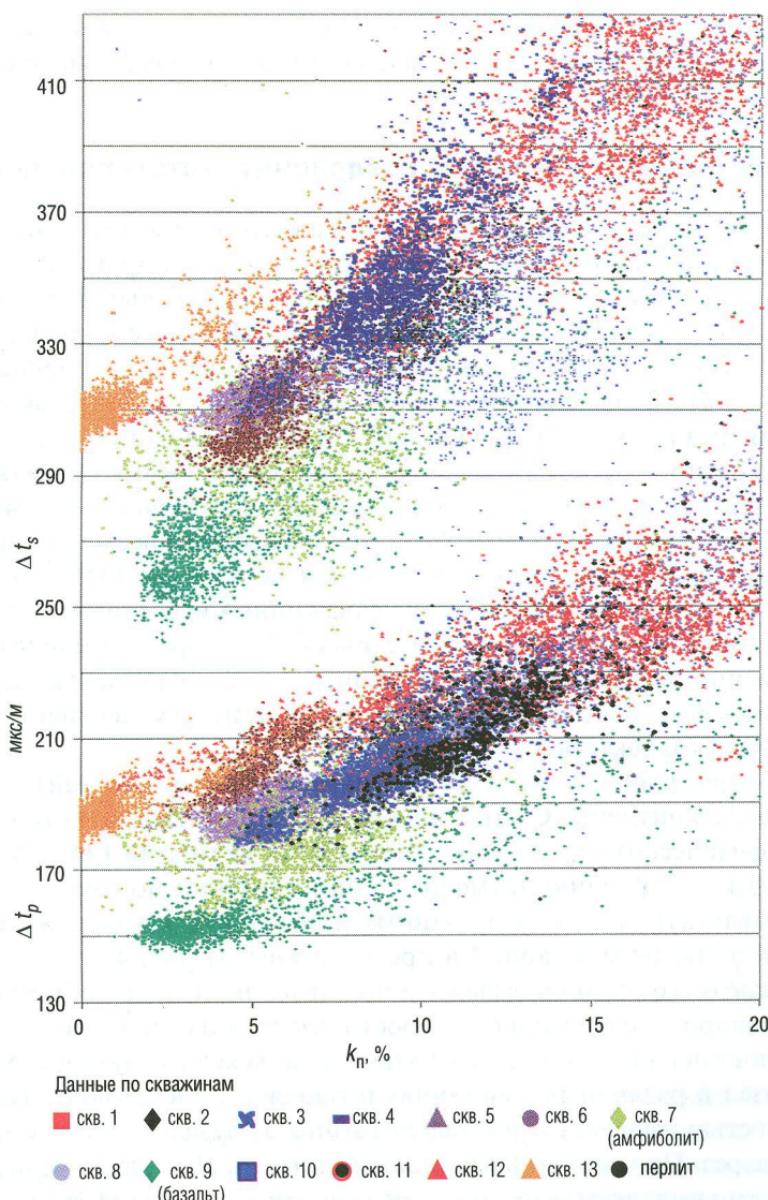


Рис. 3. Сопоставление значений интервальных времен продольной (Δt_p) и поперечной (Δt_s) волн со значениями общей пористости, рассчитанными по комплексу ННК-ГГК-АК [4]

можности разделения эфузивных пород на литотипы по данным акустического каротажа. Четко выделяются породы основного состава – базальты и амфиболиты.

Количественные критерии разделения литотипов пород

Из приведенных данных видно, что каждый рассмотренный физический параметр (плотность, водородосодержание, скорости продольных и поперечных волн) обладает определенной разрешающей способностью при определении литотипов пород. Наряду с этим каждый отдельно рассмотренный физический параметр имеет существенные ограничения. По отдельным литотипам имеют место значительные перекрытия по значениям их физических свойств в зависимости от структуры емкостного пространства. Указанные ограничения существенно снижаются при комплексном сопоставлении полученных данных.

Большинство необходимых физических параметров с необходимой точностью и детальностью определяются по данным ГИС. Использование результатов геофизических скважинных исследований позволяет по достаточно большой статистической выборке определить количественные показатели, позволяющие с большой степенью вероятности выделить основные типы эфузивных пород, перспективных на наличие коллекторов.

Чтобы разделить породы по литотипам, необходимо найти количественные критерии. С этой целью был проведен статистический анализ физических параметров, измеряемых методами ГИС. Анализ сводился к построению двумерных сопоставлений полученных данных. Результаты полученных данных и объем статистических исследований приведены в табл. 2 и представлены на рис. 4.

Прежде всего были проведены сопоставления значений общей плотности, водородосодержания и скорости продольных волн. При подобном сопоставлении видно, что только комплексное изучение подобных связей в различных сочетаниях позволяет с достаточно высокой вероятностью выделять основные литотипы эфузивных пород, слагающих разрез. При сопоставлении параметров (σ , g/cm^3 , ω , %) (рис. 4, б) однозначно выделяются неизмененные плотные кислые эфузивы (область 1), базальты (область 3), трещинно-кавернозные эфузивы (область 5) и кластиты (область 4). Неоднозначно разделяются туфы и лавобрекции (область 2, 6). При сопоставлении параметров Δt_p и σ , g/cm^3

Таблица 2

Средневероятные показатели физических параметров
при литологическом расчленении эффузивных пород

Литотипы пород	Коли-чество иссле-дован-ных сква-жин	Коли-чество опре-деле-ний	Средние значения геофизических параметров			Пределы измене-ния параметров		
			Δt_p , мкс/м	ω , %	σ , г/см ³	Δt_p , мкс/м	ω , %	σ , г/см ³
Эффузивы неизменен-ные	10	5725	210	12	2,5	190–215	8–15	> 2,5
Эффузивы трещинно-кавернозные	10	4570	235	18	2,4	220–270	12–27	2,25–2,45
Пирокласти-ческие по-роды (ла-вобрекции, туфоконгло-мераты)	8	1445	280	> 27	2,27	> 270	> 27	< 2,25
Туфы	6	863	258	25	2,4	240–280	20–26	2,28–2,5
Кластиты	2	228	250	24	2,62	230–260	20–26	2,5–2,7
Базальты	9	117	180	8	2,7	170–190	4–10	2,65–2,8

(рис. 4, в) туфы и лавобрекции выделяются с высокой степенью вероятности, недостаточно однозначно выделяются плотные и трещинно-кавернозные эффузивы. Из представленных данных наименее информативны сопоставления Δt_p и σ , г/см³. Достаточно высокая эффективность разделения литотипов достигается лишь для однородных пород. В случае переходных разностей пород эффективность значительно снижается.

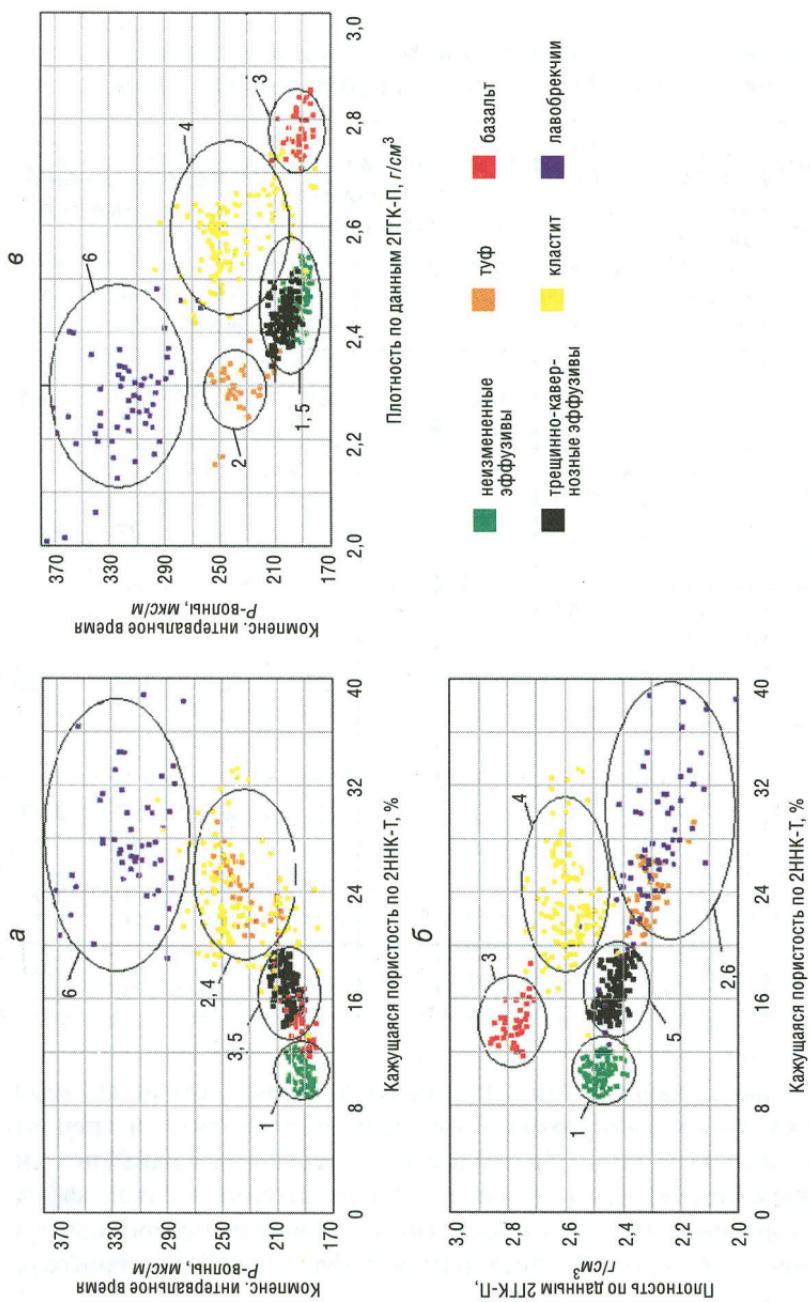


Рис. 4. Сопоставление геофизических параметров для различных литотипов пород, определенных по керну

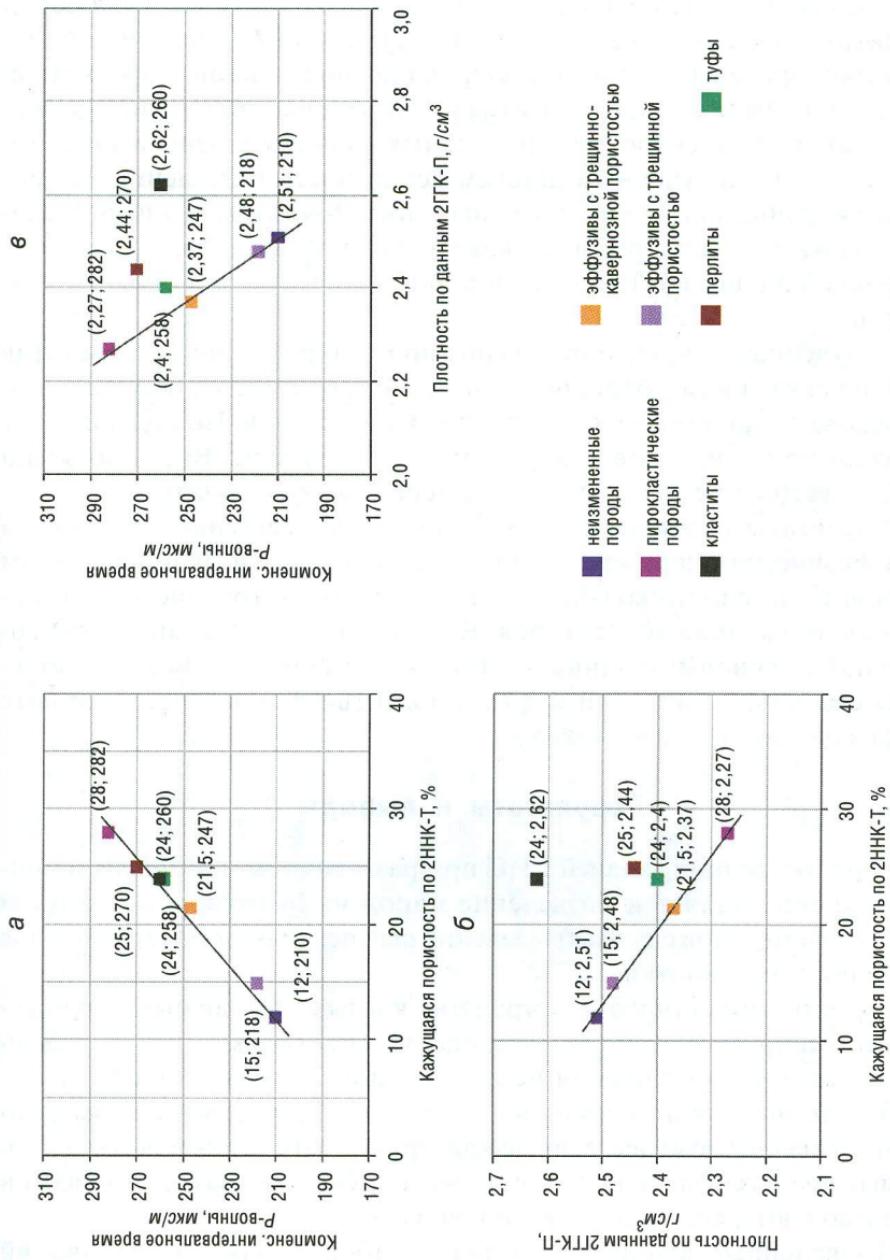


Рис. 5. Средневероятные значения водородосодержания, общей плотности и скорости продольных волн

С целью нахождения количественных критериев разделения пород по литотипам на основе измеряемых методами ГИС физических параметров проведен статистический анализ полученной информации. Средние значения и пределы изменений величин водородосодержания, плотности и скоростей продольных волн приведены в табл. 2 и на рис. 5. По полученным данным вероятность разделения указанных однотипных пород по литотипам достаточно высока и составляет порядка 80% для трещинно-кавернозных эффузивов, туфов и лавобрекчий и близка к 100% для базальтов, плотных эффузивов и кластитов.

Полученные данные опробованы при интерпретации результатов ГИС по скважинам с отбором керна и подтверждаются результатами исследования по выделению приточных интервалов. По большинству скважин получены удовлетворительные результаты. Выделенные по ГИС литотипы пород совпадают с керновыми данными.

Результаты применения полученных количественных критериев (для физических параметров) приведены на рис. 6. В приведенном разрезе выделено несколько литотипов пород, в том числе перспективных на наличие коллекторов. Выделенные по ГИС литотипы совпадают с керновыми данными. В перспективных отложениях получены стабильные притоки нефти и воды (по данным промысловых геофизических исследований).

Результаты и выводы

Первоочередной задачей ГИС при разведочном и эксплуатационном бурении является разделение пород на литотипы по данным комплекса методов с целью выделения перспективных интервалов для освоения и разработки.

- Строение емкостного пространства кислых эффузивных пород существенно зависит от их литотипа, что подтверждается многочисленными лабораторными исследованиями кернового материала.
- Для выявления перспективных литотипов пород необходимы количественные и качественные критерии. Современные методы промысловой геофизики при комплексном изучении разрезов скважин позволяют решать поставленную задачу.
- Приведенный анализ результатов лабораторных исследований керна и методов ГИС позволил оценить величины и пределы из-

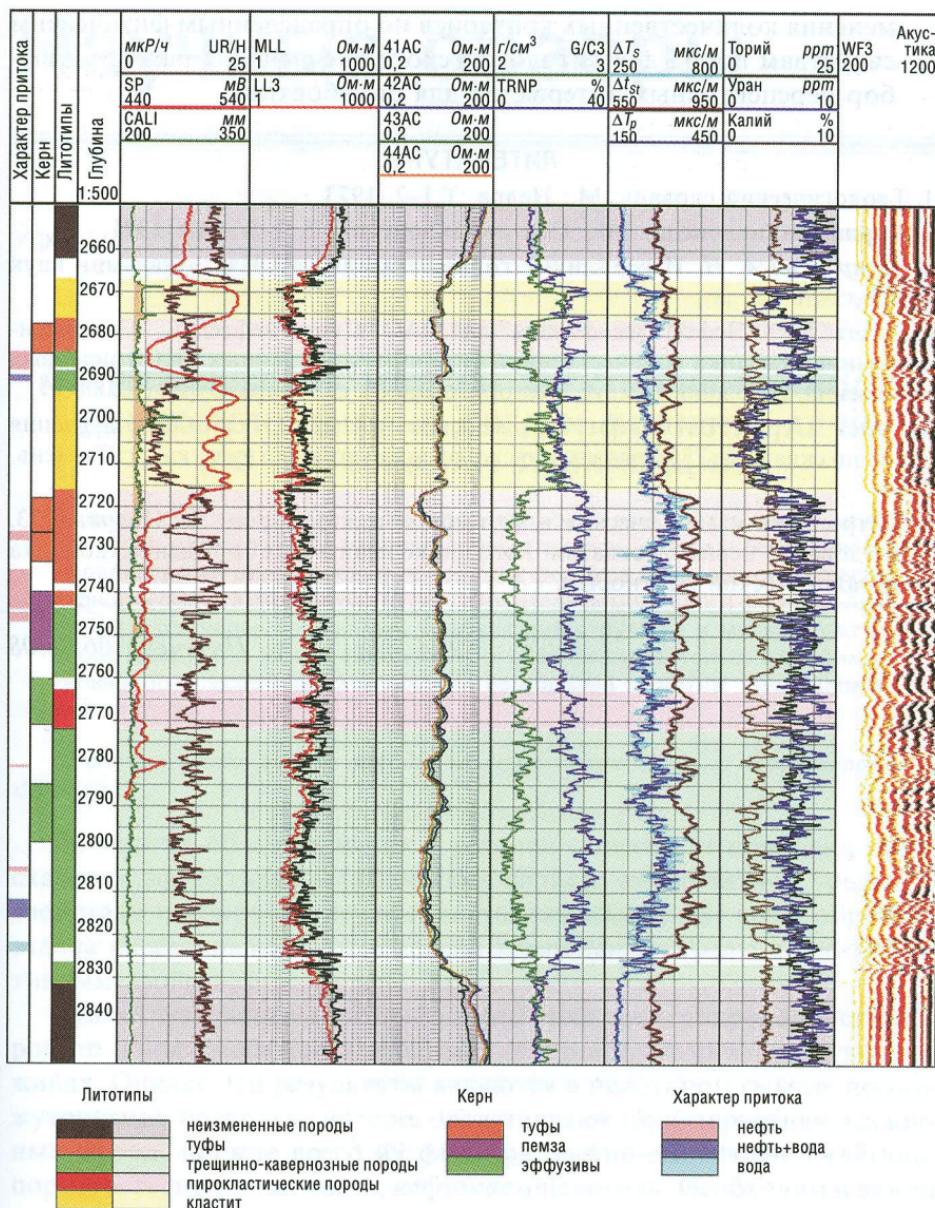


Рис. 6. Литологическое расчленение эффузивного разреза по данным ГИС

менения количественных критериев по определенным физическим свойствам пород для литологического расчленения разреза и выбор перспективных интервалов для опробования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геологический словарь. М.: Недра. Т.1–2. 1973.
2. Горная энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия. Т. 1–5. 1984–1991.
3. Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М: Изд. Академии наук СССР, 1956.
4. Отчет ООО “Нефтегазгеофизика” для ОАО “Сургутнефтегаз” “Совершенствование методики количественной интерпретации данных ГИС триасовых отложений Рогожниковского месторождения”. гг. Тверь-Сургут, 2008.
5. Отчет “СургутНИПИнефть”, Тюменское отделение “Результаты изучения керна по скважине 735 Рогожниковского лицензионного участка”. г. Тюмень, 2004.
6. Петрология магматических и метаморфических пород. Л.: Недра, 1973. Исследования керна из скважин Рогожниковского месторождения (колонка минералогической плотности).

Получена 06.08.08