

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ СПОСОБОМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ДАННЫХ (Пякяхинское месторождение, скважина 2020)

Проведена литогеохимическая интерпретация лабораторных данных по скважине №2020 Пякяхинского месторождения при помощи сопоставления химического состава с коллекторскими и другими свойствами пород. Установлено, что литогеохимический индекс исследуемых пород изменяется от минимальных значений к наибольшим значениям в зависимости от типа насыщенности пород флюидами в направлении УГЛЕВОДОРОД (УВ) → УВ+ВОДА → ВОДА → НЕКОЛЛЕКТОР. Предлагается использовать литогеохимический индекс для разделения гидрофильных, гидрофобных коллекторов и прогноза УВ.

Ключевые слова: оценка, продуктивность, насыщенность, лабораторные анализы, интерпретация, керн.

Совместное использование современных математических методов анализа и специальных (геологических, геофизических, петрофизических и др.) методов позволяет получить более детальную информацию об особеннос-

тях строения продуктивных толщ (Элланский, 2003). В данной работе на основе разработки новых методических приемов комплексной интерпретации гранулометрических, рентгеноспектральных и других лабораторных данных

Окончание статьи Ю.А. Нефедьева, С.Г. Валеева, Н.Ю. Вараксиной, Р.Р. Заббаров, К.О. Чуркина, В.С. Боровских «Новый метод построения единой селеноцентрической...»

ловной оптимизации параметры этой модели могут быть оценены путём аналитического или численного решения задачи поиска минимума (абсолютного или относительного) квадратичной формы $S = \varepsilon^T \varepsilon$ с нелинейными ограничениями в виде равенств:

$$\begin{aligned} \min \quad & \varepsilon^T \varepsilon, \\ & A, X_0 \in G, \\ & A^T A = E, \det A = 1, \end{aligned} \quad (4)$$

где ε – вектор ошибок для модели (2), $\varepsilon^T \varepsilon = \sum_{1 \leq i \leq n} \sum_{1 \leq j \leq 3} \varepsilon_{ij}^2$, n – количество объектов; G – допустимая область.

Заключение

В заключении можно сделать следующий вывод. Выбор метода трансформации координат должен быть осуществлён в результате тщательных исследований сравнительной эффективности следующих подходов: аффинного преобразования; оптимальной полиномиальной аппроксимации; ортогонального преобразования без и с учётом систематических ошибок; решения системы одновременных уравнений и др.

Следует отметить, что согласно данной работе, прогресс достигнутый мировой наукой с целью создания опорной сети привязанной к данным миссий «Аполлонов» ограничился созданием на видимой полусфере Луны достаточно неточной системы, особенно в плановых координатах с ошибками до 1 км.

Литература

- Валеев С.Г. Регрессионное моделирование при обработке наблюдений. М.:Наука. 1991.
Ризванов Н.Г. Система координат 264 опорных кратеров по крупномасштабным снимкам Луны со звёздами. Труды КГАО. 1985. №49. 80-110.

Nefedyev Y.A., Valeev S.G., Varaksina N.Y., Zabbarova R.R., Churkin K.O. Borovskih V.S. **Construction of a unified selenocentric coordinate system on the lunar surface.**

Construction of a global reference network on the lunar surface is one of the most important problems of modern selenodesy. We describe main approaches to modeling the reference selenocentric coordinate system in the center of mass and principal axes of inertia of the Moon based on the combination of space and ground-based observations.

Key words: intelligent navigation systems, reference selenocentric network, regression methods for data processing, planetology.

Юрий Анатольевич Нефедьев

Д.физ.-мат.н., профессор, директор Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта.

Наталья Юрьевна Вараксина

Мнс Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта.

Регина Рустэмовна Заббарова

Аспирант кафедры Вычислительной физики.

Константин Олегович Чуркин

Аспирант кафедры Вычислительной физики.

Казанский (Приволжский) федеральный университет. 420008, Казань, ул. Кремлевская, д.18. Тел: (927) 425-93-30.

Султан Галимзянович Валеев

Зав. кафедрой Прикладной математики и информатики Ульяновского государственного технического университета

432027 Ульяновск, ул.Северный Венец, 32.

Тел: (927) 801-14-71.

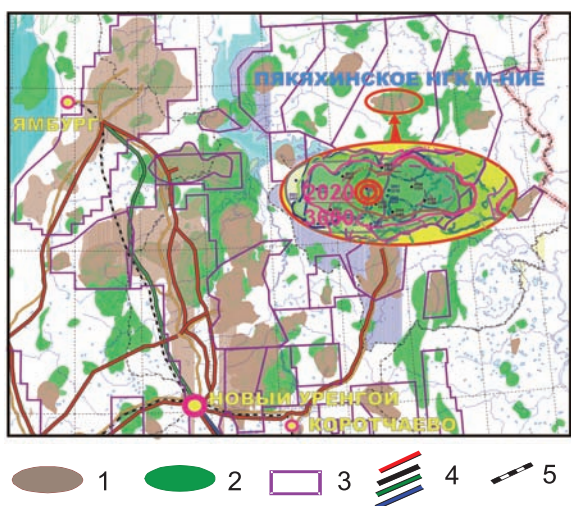


Рис. 1. Обзорная схема района работ. 1 – месторождения УВ, 2 – перспективные площади, 3 – лицензионные участки, 4 – трубопроводы, 5 – железные дороги.

показана возможность повышения результативности нефтегазопроисловых работ. Аналитический материал работы представлен результатами изучения керна по скважине № 2020 Пякяхинского месторождения. Отбор керна при бурении скважины производился из отложений покурской (пласты ПК18-0, ПК18, ПК19, ПК20, ПК21), малохетской (пласт БУ4) и заполярной (пласты БУ5-1, БУ6-1, БУ6-2, БУ10-11, БУ15-1, БУ15-2, БУ16-0, БУ16, БУ17, БУ18-1 и БУ18-2, БУ21) свит. Исследовано 265,40 м разреза (выход керна 245,64 м), представленный песчано-глинистыми отложениями. Согласно «Тектонической карте мезозойско-кайнозойского платформенного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы» (под ред. Нестерова И.И., 1984) месторождение приурочено к субширотной ориентированной положительной структуре I порядка – Хальмерпаутинского мегавалу, расположенному в пределах Надым-Тазовской синеклизы (Рис. 1). В административном плане находится на территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

В предлагаемой методике нами вводятся понятия: «главные и второстепенные элементы» – перечень параметров химического состава пород, представленный в виде суммы главных и второстепенных элементов; «литогеохимический индекс» – величина, которая характеризует физико-химическое состояние пород (Саэтгалеев, 2006; 2008).

Первый параметр – сумма породобразующих (главных) элементов, среднее содержание которых изменяется от 75,0 до 95,0%. Второй параметр – сумма второстепенных элементов, среднее содержание которых изменяется от 7,0 до 25,0%.

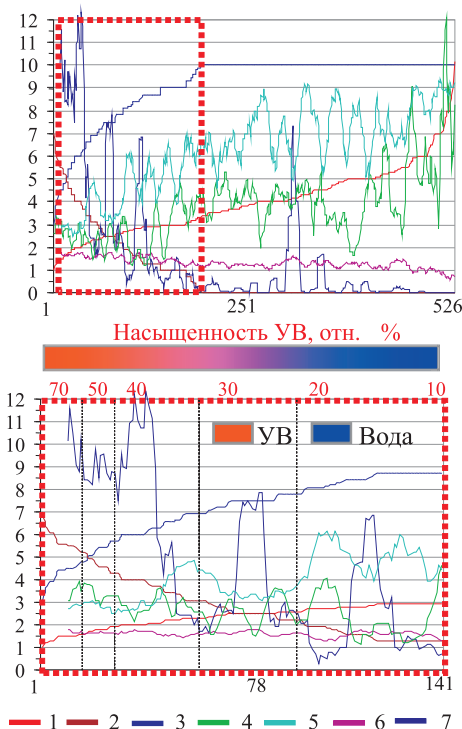


Рис. 2. Закономерное изменение флюидонасыщенности пород по литогеохимическому индексу. 1 – Литогеохимический индекс, усл.ед., 2 – УВ насыщенность, %, 3 – Квс расчетный, %, 4 – УЭС 100% насыщенного образца, Ом*м, 5 – Квс экспериментальный, %, 6 – Кпо, %, 7 – Кпр 10⁻³ мкм².

Для надежного прогнозирования нами использованы лишь такие зависимости между значениями сумм главных и второстепенных элементов, у которых коэффициент корреляции равен 1,00, хотя обычно используются зависимости с коэффициентом корреляции больше 0,87 (Поротов, 2006).

Таким образом, определено, что для исследуемых отложений главными породобразующими оксидами являются SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O. Все остальные рассмотренные сочетания главных и второстепенных элементов (включая микрокомпоненты) при корреляции показывают величину аппроксимации меньше 1. Определяется эталонный образец с минимальным содержанием суммы второстепенных элементов (при этом качественный состав второстепенных элементов значения не имеет). Вычисляется отношение значений суммы второстепенных элементов исследуемого образца к сумме второстепенных элементов эталонного образца, которое показывает во сколько раз в исследуемых образцах, отличается суммарное содержание второстепенных элементов от содержания второстепенных элементов в эталонном образце. Эта величина называется литогеохимическим индексом породы и представляет собой положительное число равное или больше 1,00. Сопоставление литогеохимического индекса с закономерностями изменения литологического состава и петрофизических свойств пород в зависимости от степени и типа их флюидонасыщения позволяет уточнить нефтегазоносность выявленных продуктивных горизонтов.

На рис. 2 показан характер распределения параметров

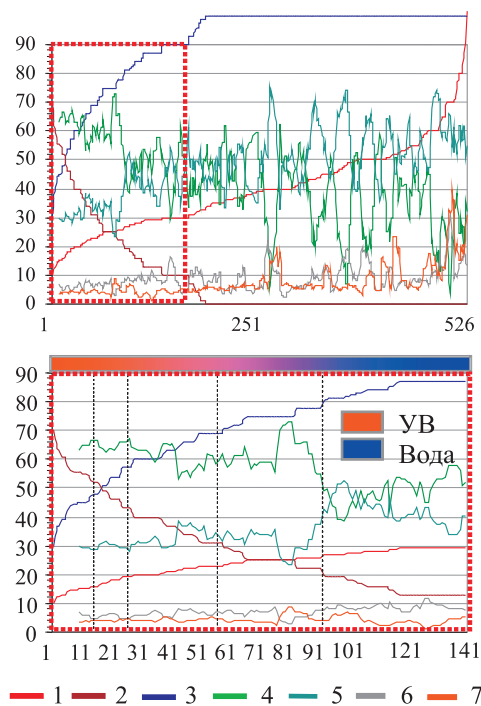


Рис. 3. Изменение гранулометрического состава пород в зависимости от типа и степени насыщенности пород (по возрастанию литогеохимического индекса). 1 – Литогеохимический индекс, усл.ед., 2 – УВ насыщенность, %, 3 – Квс расчетный, %, 4 – Псаммитовая фракция, %, 5 – Алевритовая фракция, %, 6 – Пелитовая фракция, %, 7 – Карбонатность, %.

фильтрационно-емкостных свойств (ФЭС) (коэффициент эффективной пористости, коэффициент проницаемости, удельное электрическое сопротивление 100% насыщенного образца, коэффициент остаточной водонасыщенности) в зависимости от возрастания величины литогеохимического индекса. Для всех разновидностей песчано-глинистых пород данного разреза величина литогеохимического индекса изменяется от 1 до 10,2. По возрастанию литогеохимического индекса на графике выделяются две области значений параметров ФЭС с различными особенностями их распределения. Значения параметров ФЭС в левой части диаграммы имеют более выраженный характер распределения, чем в правой. Эта область выделена по значению литогеохимического индекса равного 3 (красная пунктирная рамка). Необходимо отметить, что в правой части диаграммы отмечается область распределения аномально высоких значений проницаемости, обусловленная развитием процессов цеолитизации коллекторов. Это связано с тем, что заполнение порового пространства только цеолитом, сохраняет фильтрационную способность пород. При более детальном рассмотрении левой части диаграммы видно, что эта область по характеру распределения значений параметров ФЭС подразделяется еще на две части. Эти области разграничены диапазонами значений литогеохимического индекса от 1,0 до 1,9 и от 2,0 до 2,9.

Таким образом, наблюдается ярко выраженная группировка образцов пород по их литогеохимическим индексам. По физико-емкостным свойствам в диапазоне литогеохимического индекса от 1,0 до 1,9 группируются насыщенные углеводородами (УВ) образцы коллекторов, в диапазоне литогеохимического индекса от 2,0 до 2,9 группируются УВ-водосодержащие образцы коллекторов. В целом, по возрастанию литогеохимического индекса возрастают значения водонасыщенности и удельного электрического сопротивления для 100% насыщенных образцов, и, наоборот, уменьшаются значения эффективной пористости и проницаемости (соответственно наблюдается уменьшение УВ насыщенности). Необходимо отметить, что при величине литогеохимического индекса от 3,0 до 7,0 исследуемые образцы пород по физико-химическому состоянию классифицируются как чисто водонасыщенные, а при величине литогеохимического индекса больше 7,0 можно уверенно констатировать процесс превращения коллекторов во флюидоупоры. Классификация физико-химического состояния коллекторов по изменению величины литогеохимического индекса хорошо иллюстрируется следующими диаграммами.

При изучении изменений гранулометрического состава образцов зерна в зависимости от возрастания значений литогеохимического индекса проявляется на диаграммах аналогичная закономерность (Рис. 3). На рис. 3 показано два типа распределений гранулометрических параметров, характерных для левой и правой части диаграммы, граница между которыми проходит по значению литогеохимического индекса, равного 3. В диапазоне изменения величины литогеохимического индекса от 1,0 до 1,9 наблюдается убывание песчаной фракции, возрастание алевритовой и глинистой фракции, увеличение доли карбонатной фазы (насыщенные УВ образцы зерна). В диапазоне изменения величины литогеохимического индек-

са от 2,0 до 2,9 наблюдаются более резкие изменения в распределении гранулометрических параметров (УВ-водонасыщенные образцы зерна). В характере распределения глинистых минералов по возрастанию величины литогеохимического индекса наблюдаются следующие закономерности (Рис. 4). На представленной диаграмме, в левой его части, четко выделяется область распределения содержаний минералов глинистого цемента отличающаяся от распределения глинистых минералов в правой части. Граница между этими двумя областями диаграммы проходит по линии, проходящей через величину литогеохимического индекса, равного 3. Анализ распределения минералов глинистого цемента показывает тенденцию постепенного уменьшения содержания каолинита и, наоборот, постепенного увеличения содержания хлорита и гидрослюда в направлении от УВ насыщенных к водосодержащим коллекторам. В образцах коллекторов, видоизмененных во флюидоупор, отмечается увеличение содержания каолинита и гидрослюда.

Распределение химических оксидов и элементов Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 , P_2O_5 , CaO , ППП (потери при прокаливании), S, Ba и других микрокомпонентов в зависимости от возрастания величины литогеохимического индекса закономерно связано с интенсивностью вторичных изменений (пиритизации, хлоритизации и карбонатизации) коллекторов. Установлена тенденция постепенного роста содержаний второстепенных элементов в диапазоне изменения литогеохимического индекса от 1,0 до 2,9 и выше; причем в диапазоне изменения литогеохимического индекса от 3,0 до 9,0 наблюдается более резкое увеличение содержаний Fe_2O_3 , S и MgO ; при значениях литогеохимического индекса более 7,0 наблюдается резкое увеличение содержаний CaO , ППП. Таким образом, процесс превращения образцов коллекторов во флюидоупоры фиксируется по повышенным содержаниям вышеназванных второстепенных элементов и выделяется по наибольшим значениям величины литогеохимического индекса. Анализ особенностей содержания Fe_2O_3 , MgO , CaO и ППП в диапазоне изменения величины литогеохимического индекса показывает постепенное их увеличение в направлении УВ-УВ+ВОДА-ВОДА-НЕКОЛЛЕКТОР. Примечателен характер изменения содержания серы в изученных образцах зерна. Установлено, что наиболее высокие значения содержания серы приурочены к коллекторам с углеводородным насыщением, тогда как в водосодержащих коллекторах отмечаются относительно низкие содержания серы.

Следующие аномально высокие содержания серы с крайне неравномерным распределением устанавливаются начиная с образцов зерна, литогеохимический индекс которых больше 5. В этом случае предполагается проявление сульфатной минерализации. Изучение распределения элементов естественно-упорядоченных по разрезу показывает наличие двух групп элементов, характеризующихся четкой противоположной направленностью концентраций. Первая группа включает элементы: K_2O , Al_2O_3 , P_2O_5 , Cl, Ag, Sn, Nb, Au и Ce. Вторая группа включает элементы: Na_2O , MgO , S, Ba и Sr. Ввиду того что рассмотрение геохимии этих элементов не входит в задачу настоящей работы, отметим только факт совпадения минимального и максимального содержания этих элементов с уча-

стками развития процессов цеолитизации пород. В цеолитизированных породах первая группа элементов характеризуется минимальным содержанием, а вторая группа элементов, наоборот, высоким содержанием.

На рис. 5 представлены итоговые результаты литогеохимической интерпретации лабораторных данных и их сопоставление с данными геофизической интерпретации и результатов испытания скважины. Отметим, что рассматриваемый разрез нижнемеловых отложений по скважине 2020 характеризуется достаточно сложным строением. В породах, слагающих данный разрез, установлено наличие, по крайней мере, двух типов эпигенетических процессов, которые имеют четко выраженное зональное развитие.

Первый тип – это интенсивная карбонатизация отложений покурской свиты и группы пластов заполярной свиты вплоть до превращения отдельных прослоек песчано-алевритовых пород во вторичный флюидоупор.

Второй тип отличается интенсивной цеолитизацией отложений заполярной свиты (пласты БУ10-20). Эпигенетические изменения пород необходимо учитывать при составлении геолого-технологических мероприятий по освоению пластов и добычи продукта. Например, по результатам испытания интервалов 3120-3126 м и 3130-3144 м (пласт БУ15 1+2) вместо ожидаемого продукта был получен фильтрат бурового раствора с пленкой нефти. Хотя при сопоставлении с результатами литогеохимической интерпретации подтверждается наличие продукта в интервалах 3123,5-3126,5 м и 3127,8-3130,0 м. В данном случае отрицательный результат испытаний, по мнению авторов, связан с тем, что цеолитизированные коллекторы обладают относительно большей инерционностью на внешнее воздействие. Рекомендуется технологию проведения испытаний на цеолитизированных пропластках доработать с учетом данного обстоятельства. Перспективы этих интервалов (мощность первого интервала – 3,0 м, мощность второго интервала – 2,2 м) зависят только от возможностей технологии освоения и разработки.

Результаты других испытаний в цеолитизированных участках разреза подтверждаются данными литогеохимической интерпретации.

Авторами дополнительно выделяются шесть продуктивных интервалов. Из них наиболее перспективными (по насыщенности УВ и мощности пропластков) являются второй, третий и пятый пропластки: ПК19 (2205,0-2208,0 м), БУ4 (2658,0-2665,0 м), БУ18-1 (3261,5-3268,5 м).

Пропласток №2 в интервале 2200,0-2208,0 м представлен разновидностями песчано-алевритовых пород, в нижней части с прослойками аргиллитов и углей, литогеохимический индекс пород изменяется от 1,2 до 2,8. Прогнозная оценка УВ насыщенности составляет от 16 до 64 %. В середине интервала (2207,11-

2207,40 м) наблюдается прослойка углей, которые из-за сильной трещиноватости не являются флюидоупором. Высокую перспективность данного интервала подтверждают результаты интерпретации ГИС и проведенные испытания в интервале 2200,0-2206,0 м. Границы продуктивного интервала (мощность 8,0 м) рекомендуется выделять по данным литогеохимической интерпретации.

Пропласток №3 выделяется в интервале 2659,0-2673,5 м, в продуктивной части представлен песчаниками и алевритовыми песчаниками, в середине интервала в различной степени карбонатизированными водонасыщенными алевролитами (6,5 м). Индекс пород в продуктивных частях изменяется от 1,7 до 2,8. По данным ГИС интервал не продуктивный. Испытания пласта не проводились. По результатам литогеохимической интерпретации прогнозная оценка УВ насыщенности составляет от 13 до 47 %. Дос-

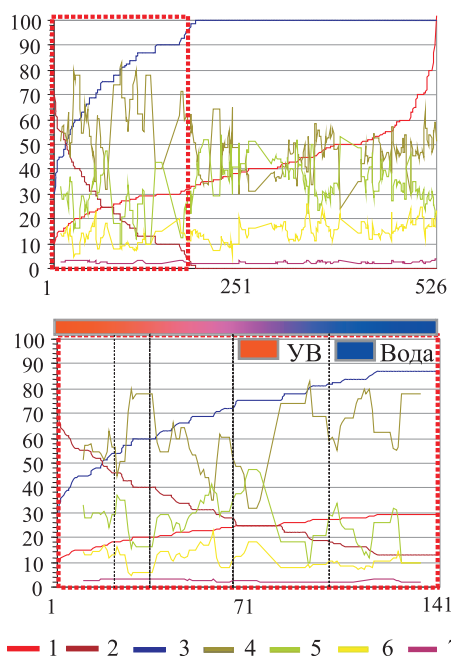


Рис. 4. Изменение содержания минералов глинистого цемента в зависимости от типа и степени насыщенности пород (по возрастанию литогеохимического индекса). 1 – Литогеохимический индекс, 2 – УВ насыщенность, %, 3 – $K_{вс}$ расчетный, %, 4 – Каолинит, %, 5 – Хлорит, %, 6 – Гидрохлорита, %, 7 – Смешаннослойные, %.

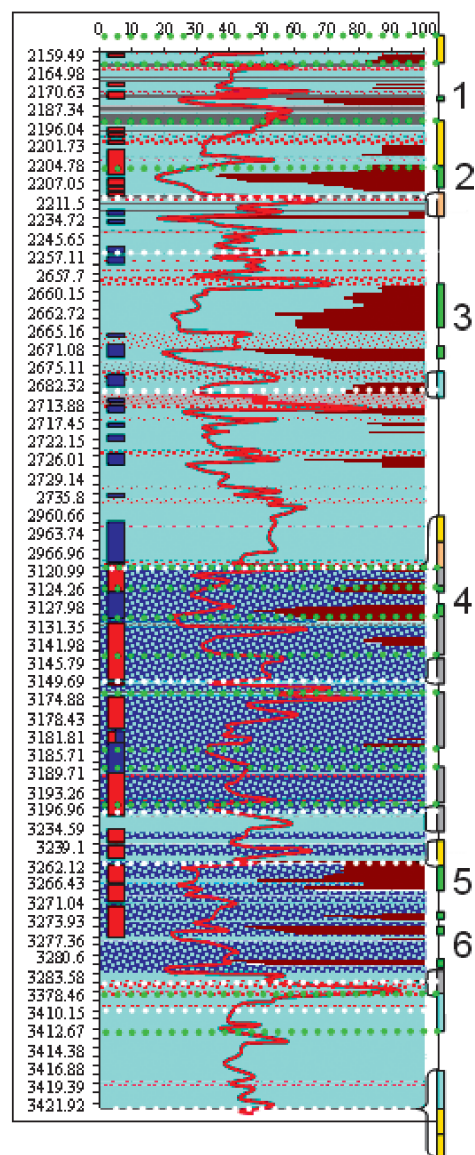


Рис. 5. Оценка продуктивности коллекторов по керну скважины 2020 Пякяхинского месторождения.

по данным ГИС по результатам испытаний
 по данным литогеохимической интерпретации

■ УВ ■ вода ■ нефть ■ газ ■ "сухо"
■ аргиллит ■ известняк ■ цеолитизация
■ индекс ■ керн отсутствует ■ глинизация
■ интервалы испытаний ■ карбонатизация
■ УВ ■ вода ■ перспективные интервалы

таточно большая мощность интервала (около 8,0 м) подчеркивает его перспективность для промышленной разработки.

Пропласток №5 по ГИС выделяется в интервале 3261,8-3266,2 м (выделен 1 проницаемый продуктивный пропласток). Разрез сложен разновидностями песчано-алевритовых пород. По результатам литогеохимической интерпретации индекс пород в интервале 3261,5-3268,5 м изменяется от 1,4 до 2,7. Прогнозная оценка УВ насыщения изменяется от 19 до 55 %. Из-за достаточно большой мощности (7,0 м) и хорошей УВ насыщенности (среднее 31,4 %) данный интервал является перспективным для промышленного освоения. Испытания пласта не проводились. Рекомендуется границы продуктивного интервала выделять по результатам литогеохимической интерпретации.

Необходимо отметить, что группа пропластков №6 (пласт БУ18-2) в интервалах 3275,2-3277,0 м и 3281,0-3282,5 м по результатам литогеохимической интерпретации является также перспективной (Рис. 5). В первом пропластке индекс песчаников изменяется от 1,4 до 2,0. Прогнозная оценка УВ насыщенности составляет от 40 до 55 %. Во втором пропластке индекс песчаников изменяется от 1,3 до 1,7. Прогнозная оценка УВ насыщенности составляет от 49 до 65 %. При небольшой мощности (1,8 м и 1,5 м) и хорошей УВ насыщенности (средние – 47,2 и 55,2 %) перспективы этих пропластков зависят только от возможностей технологии освоения и разработки. Испытания пропластков не проводились.

В целом, по результатам литогеохимической интерпретации установлено, что продуктивные интервалы скважины 2020 Пякяхинского месторождения имеют сложный состав флюидонасыщенности (газ, нефть, вода). В среднем, по разрезу насыщенность коллекторов углеводородами не превышает 52,8 % (на данном этапе исследований разделение углеводородов на газ и нефть по литогеохимическим признакам не проводилось). Кроме того, мощная зона цеолитизации пород в отложениях пластов от БУ15 до БУ19, несомненно, осложнит технологию освоения выявленных продуктивных интервалов. Отсутствие керн по интервалам, в которых по результатам испытаний получен чистый продукт (пласты ПК20, БУ12, БУ15-1, БУ18-1, БУ23 и БУ24), не позволило получить литогеохимическую характеристику этих коллекторов. Однако, по опыту подобных работ, выполненных на других месторождениях Западной Сибири, можно предположить, что литогеохимический индекс этих коллекторов приближается к 1,0, и соответственно прогнозная оценка УВ насыщенности составляет около 70 %.

Выводы:

1. Предлагаемый метод обработки и интерпретации лабораторных данных при исследовании кернового материала позволяет получить дополнительную информацию об особенностях строения продуктивных толщ. По литогеохимическому анализу дополнительно выделены 6 продуктивных интервалов, по которым не проводились испытания. Среди них, пласты ПК19 (2205,0-2208,0 м), БУ4 (2659,0-2673,5 м), БУ18-1 (3261,5-3268,5 м) являются наиболее перспективными для промышленного освоения.

2. Данные литогеохимических исследований легко при-

менять как при геологоразведочных работах (в целях оценки прогноза и корректировки направления поисков на УВ-сырье), так и при подсчете запасов (оценка однородности, мощности и количества продуктивных горизонтов). Использование параметра «литогеохимический индекс» способствует эффективному выделению наиболее перспективных образцов пород (интервалов пласта, разреза) для их дальнейшего изучения, установлению верхних и нижних границ залежи, водонефтяных контактов, определению типов флюидоупоров и участков развития гидрофобных и гидрофильных пород.

Литература

Тектоническая карта мезозойско-кайнозойского платформенного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы. Под ред. Нестерова И.И. 1984.

Поротов Г.С. Математические методы моделирования в геологии. Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В.Плеханова. Санкт-Петербург. 2006. 220.

Саеггалеев Я.Х. Проблемы и методические подходы к геохимической типизации и стратификации осадочных толщ Западно-Сибирского нефтегазового бассейна. *Мат-лы II науч.-практ. конф. «Проблемы нефтегазового комплекса западной Сибири и пути повышения его эффективности»*. Когалым. 2006. 25-30.

Саеггалеев Я.Х. Литогеохимические особенности продуктивных толщ неокма по скв.51 Восточно-Кутымской площади (Западная Сибирь). *Мат-лы V Всеросс. сов. «Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли»*. Екатеринбург: ИГ УрО РАН. 2008. Т. II. 236-238.

Элланский М.М. Повышение информативности геолого-геофизических методов изучения залежей нефти и газа при их поисках и разведке: Учебное пособие для ВУЗов. М.: «Техника» группа ТУММ. 2003. 112.

Y.Kh. Saetgaleev, M.R. Mazitov. **Determination of collector efficiency by statistical correlation of laboratory data.**

We perform a lithogeochemical interpretation of laboratory data for the well No. 2020. Analysis of various properties of the reservoir rocks indicates that the value of geochemical index depends on the type of fluids saturated in reservoir rocks; the index increases in the following direction: hydrocarbon (hc) – hc + water – water – non-reservoir rocks. Thus, geochemical index can be used to distinguish between hydrophilic and hydrophobic rocks and identify the areas of hydrocarbon accumulation.

Key words: evaluation, productivity, saturation, laboratory analyses, interpretation, core.

Ягфар Халитович Саеггалеев

Начальник отдела литологии ООО «КогалымНИПИ-нефть».

626481, Тюменская обл., Когалым, ул. Дружбы Народов, 15. Тел.: (34667) 629-40.

Марат Рафаэлович Мазитов

Начальник геологического отдела ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь».

628486, Тюменская обл., Когалым, ул. Прибалтийская, 20. Факс: (34667) 298-00. Тел.: (34667) 502-09.