

**Типизация разреза баженовской свиты посредством  
комплексирования геолого-геохимических и геофизических данных**

**Г. А. Смоляков<sup>1\*</sup>, В. Ф. Гришкевич<sup>1</sup>, Н. Ю. Москаленко<sup>1</sup>,  
Н. В. Гильманова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», г. Тюмень, Россия

<sup>2</sup>Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

\*e-mail: SmolyakovGA@tmn.lukoil.com

*Аннотация.* Породы, слагающие баженовскую свиту, детально изучены с помощью валовых спектрометрических исследований. Дополнительно в комплексе рассматривались конкретные данные и публикации, характеризующие палеонтологические и фациальные условия осадконакопления бассейна седиментации. Результаты проведенных исследований показывают исключительно органогенную природу происхождения литологических разностей баженовских отложений, подтверждают необходимость изменения алгоритмов проведения интерпретации геофизических исследований скважин. Выявлены закономерности изменения регистрируемых скважинных значений с составом пород и их приуроченности к определенным стратиграфическим этажам и соответствующим фациальным обстановкам. Разработана концепция литологического расчленения баженовской свиты посредством геофизических исследований скважин, подтвержденная данными по керну и испытаниями в скважинах.

*Ключевые слова:* баженовская свита; спектрометрические исследования; палеонтологическая характеристика; геофизические исследования скважин

**Typification of the section of Bazhenov formation through the integration  
of geological, geochemical and geophysical data**

**Gennady A. Smolyakov<sup>1\*</sup>, Vladimir F. Grishkevich<sup>1</sup>, Natalia Yu. Moskalenko<sup>1</sup>,  
Natalia V. Gilmanova<sup>2</sup>**

*KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC, Tyumen, Russia*

*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*

\*e-mail: SmolyakovGA@tmn.lukoil.com

*Abstract.* The article is devoted to features of the geological structure of Bazhenov formation. Gross spectral studies helped to study in detail the rocks composing the Bazhenov formation. In addition, specific data and publications characterizing paleontological and facies conditions of depositional basin sedimentation were considered. The results of the studies show only the organogenic nature of the origin of the lithological differences of Bazhenov deposits, confirm the need to

change the algorithms for the interpretation of geophysical studies of wells. In the article, we reveal the regularities of changes in the recorded well values with the composition of rocks and their attachment to certain stratigraphic floors and the corresponding facies conditions. Also, we describe the concept of lithological dismemberment of Bazhenov formation by well testing and well performance.

*Key words:* Bazhenov formation; spectrometric studies; paleontological characteristics; well testing

### **Введение**

На сегодняшний день керн является единственным источником достоверной информации о горных породах, залегающих глубоко в недрах. Данные о геохимическом составе определенной литологической разности дают возможность более точно говорить о ее происхождении, наличии или отсутствии коллекторских свойств и позволяют выделять ее в разрезе по данным геофизических исследований в скважинах (ГИС).

Типичный разрез баженовской свиты (БС) невозможно расчленить по стандартным алгоритмам терригенных и карбонатных формаций нефтегазоносных провинций. Существующие методики интерпретации часто не согласуются друг с другом, отличаются по количеству литотипов и не позволяют однозначно выделить продуктивные интервалы.

В данной работе будет показано комплексное использование геолого-геохимической и геофизической информации, восстанавливающее хронологию осадконакопления верхнеюрских отложений Имилорского месторождения и позволяющее расчленять БС по данным стандартного комплекса ГИС.

### **Объект и методы исследования**

Седиментация баженовского бассейна проходила в условиях высокого уровня моря и удаленности от материковой части, когда питающие провинции почти не поставляли терригенный материал в зону осаждения. Поэтому главным источником породообразующего вещества служили морские организмы [1].

Данный факт подтверждается спектрометрической информацией по керну двух опорных скважин: большую часть породообразующего объема разреза БС занимает оксид кремния, преобладание которого обусловлено останками зоопланктона скелетов ископаемых радиолярий (рис. 1).

Изменение содержания петрогенных оксидов и элементов в интервале свиты, измеренные с помощью портативного прибора X-Met 7500, сопровождается изменением преобладания определенных популяций nektona, планктона, бентоса и вторичными изменениями литифицируемых осадков.

На рисунке 2 видно, что результаты качественного соотношения содержания элементов по данным разных приборов (портативного и стационарного) сопоставимы. Портативный прибор уверенно определяет спектры большинства макроэлементов и главным образом петрогенных оксидов. То есть анализатор X-Met 7500 надежно определяет присутствие того или иного элемента из

своего рабочего диапазона и качественное соотношение его содержания с другими элементами.

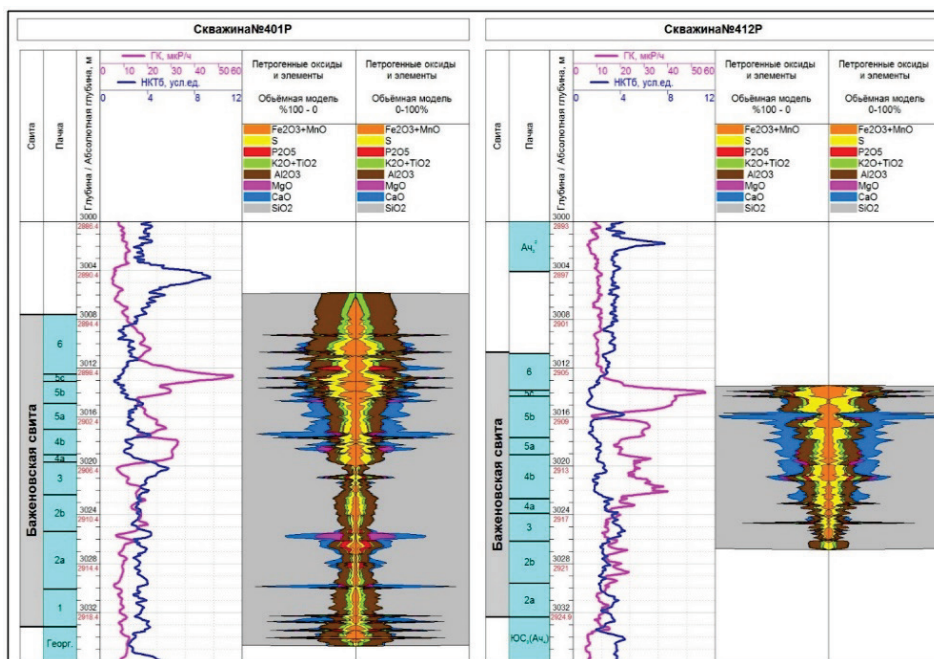


Рис. 1. Визуализация спектрометрических исследований керна и данных ГИС по разрезам скв. 401Р и 412Р

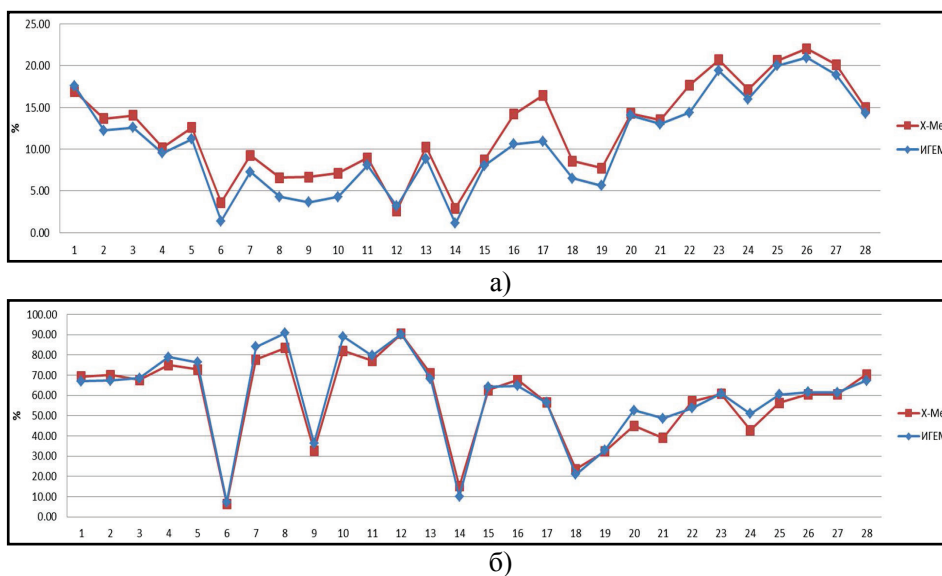


Рис. 2. Сравнение результатов рентгенофлуоресцентного анализа портативного (X-Met 7500) и стационарного прибора (ИГЕМ) по а)  $Al_2O_3$  и б)  $SiO_2$

Обобщенная схема комплексного использования спектрометрической информации по керну скважин совместно с данными ГИС, литолого-фациальной и палеонтологической характеристикой разреза БС представлена на рисунке 3. Приведенная схема наглядно показывает преимущественно органогенную природу происхождения пород БС с меньшим влиянием терригенного материала и вторичных процессов на окончательный состав большинства литологических разностей.

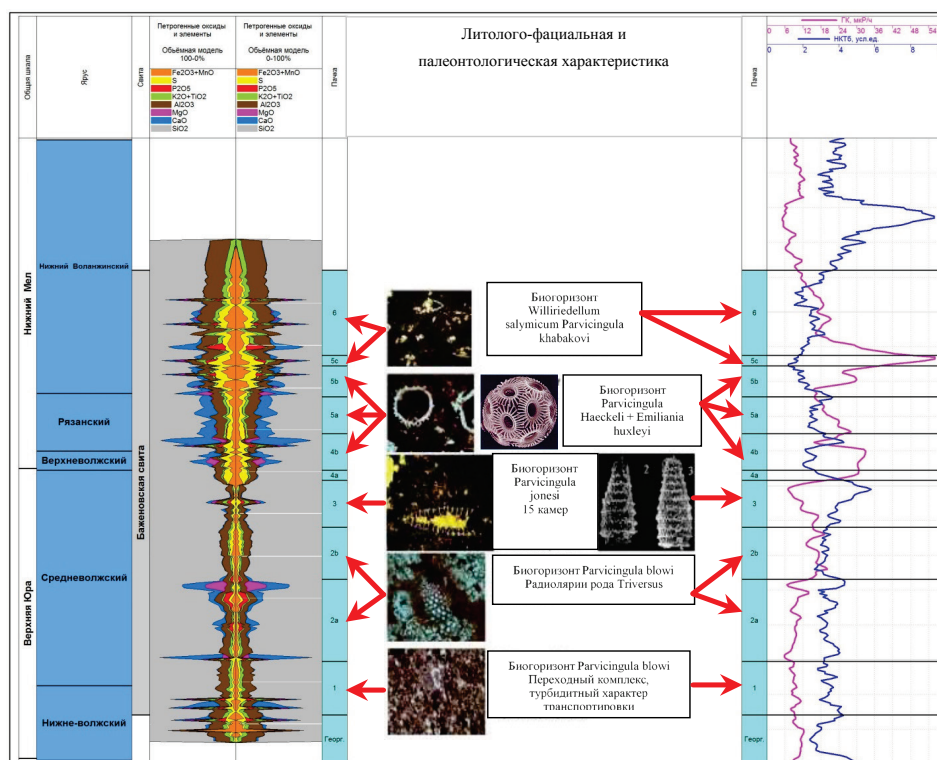


Рис. 3. Схема расчленения баженовского горизонта по данным скважины 401P с комплексной характеристикой по ископаемым организмам

## Результаты

С учетом опыта и наработок таких авторов, как И. В. Панченко, В. Д. Немова, Е. Ю. Балушкина, Г. А. Калмыков, отложения БС Имилорского месторождения были разделены на 6 стратиграфических пачек, которые уверенно выделяются по каротажу и керну (описание снизу вверх) [1, 2].

Пачка 1 — сложена преимущественно глинистыми углеродистыми силицитами с линзами радиоляритов. В кровельной части пачки встречаются мало-мощные (до 1 м) прослои радиоляритов, доломитов и известняков.

Пачка 2 — сложена преимущественно глинистыми углеродистыми силицитами, в том числе с биогенным детритом двустворок, визуальными массивными, с непостоянным числом разновеликих прослоев радиоляритов, неоднородно вторично карбонатизированных.

Пачка 3 — «радиоляритовая», представлена силицитами с радиоляритами, доломитами и известняками, замесившими радиоляриты.

Пачка 4 — «высокоуглеродистая», сложена силицитами глинистыми наиболее высокоуглеродистыми, однородными и с прослоями, насыщенными двустворками.

Пачка 5 — «кокколитофоридовая», представлена глинисто-известковыми силицитами, а также переслаиванием силицитов глинисто-известковых, послойно пиритизированных, с силицитами глинистыми пиритизированными. Встречаются прослои вторичных известняков и доломитов. Повсеместно породы насыщены остатками кокколитофорид и рыб, реже — двустворками.

Пачка 6 — «пиритовая», повсеместно представлена силицитами глинистыми послойно пиритизированными, редко, в верхней части, слабокремнистыми глинами.

Состав и последовательность стратиграфических пачек достаточно выдержаны по разрезу и хорошо прослеживаются на больших расстояниях, некоторые из них были дополнительно раздроблены в соответствии со сменой фациальных обстановок осадконакопления [1].

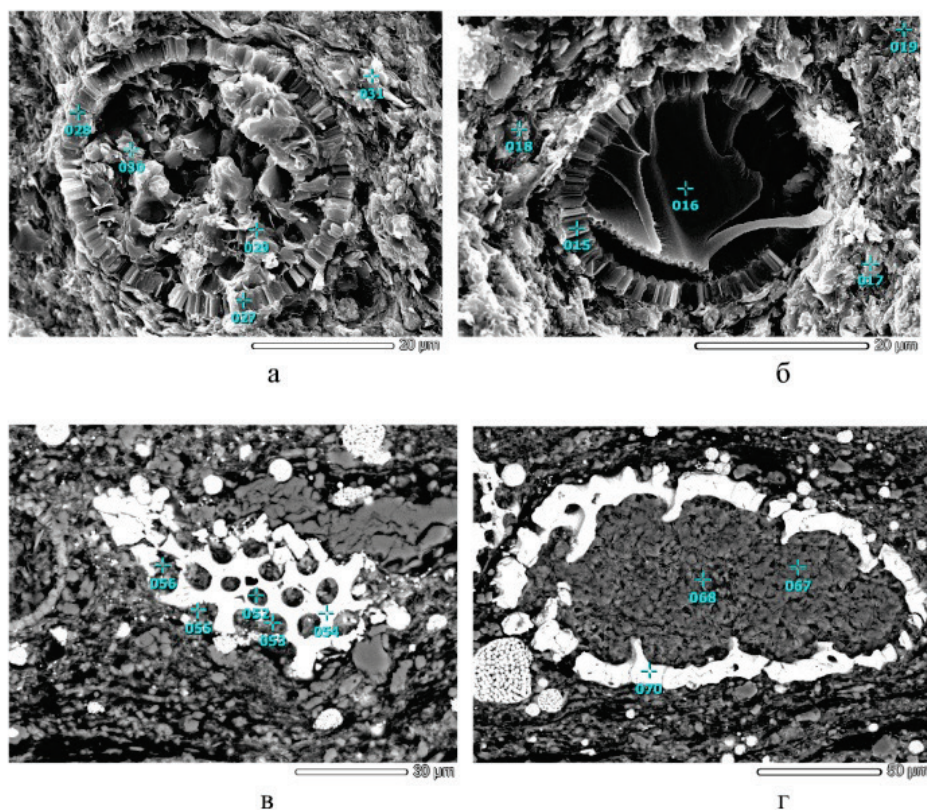
Для литологического расчленения разреза БС Имилорского месторождения были разработаны 9 литотипов (таблица), обособленных по минеральному составу, палеонтологическим характеристикам, стратиграфической приуроченности к описанным выше пачкам и обособленных возможностью их выделения по стандартному комплексу ГИС.

#### **Индексация литотипов баженовской свиты Имилорского месторождения**

| Литотип баженовской свиты<br>Имилорского месторождения                | Априорные значения по временному<br>методическому руководству государственной<br>комиссии по запасам [3] |                                     |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                                       | Используемая<br>нефтенасыщенная<br>толщина<br>для подсчета<br>запасов, м                                 | Коэффициент<br>продуктивности,<br>% |
| Силицит радиоляритовый                                                | 100 %                                                                                                    | 85                                  |
| Вторичный карбонат                                                    | 50 %                                                                                                     | 95                                  |
| Силицит глинисто-карбонатный                                          | 50 %                                                                                                     | 95                                  |
| Силицит глинисто-карбонатно-битуминозный<br>послойно пиритизированный | Неколлектор                                                                                              | —                                   |
| Силицит глинисто-битуминозный                                         | Неколлектор                                                                                              | —                                   |
| Силицит глинистый                                                     | Неколлектор                                                                                              | —                                   |
| Аргиллит слабо битуминозный                                           | Неколлектор                                                                                              | —                                   |
| Битуминозный аргиллит                                                 | Неколлектор                                                                                              | —                                   |
| Силицит пиритизированный                                              | Неколлектор                                                                                              | —                                   |

В отдельную группу можно отнести литотипы, характеризующие вторичные изменения пород, — это силицит пиритизированный и вторичный карбонат, соответствующие им пиритизация и карбонатизация встречаются почти во всех шести пачках БС.

Исследования, проведенные с помощью современной сканирующей электронной микроскопии, позволили восстановить картину минералообразования в битуминозной породе — цикличной, многоэтапной смены псевдоморфоз минералов один по другому в остатках биоты нектона, планктона и донных некротических отложений (рис. 4). Однако при изучении разреза было отмечено, что метаморфические процессы в БС не всегда хаотичны и в стратиграфическом отношении есть обособленные горизонты — пиритизированные прослои обязательно приурочены к пачкам «4а» и «5с», также часто карбонатный прослой залегает на границе пачек «2b» и «2а», «1» (рис. 5).



**Рис. 4. Электронно-микроскопические снимки минеральных замещений:**  
а) криптокристаллический кварц по аморфному кремнезему (точки 027, 028), аутигенная гидрослюда (точки 029, 030); б) кероген по акваорганическому веществу (точка 016), криптокристаллический кварц по аморфному кремнезему (точка 016); в) кальцит по аморфному кремнезему радиоларий (точка 054), аутигенные гидрослюда и хлорит в полостях радиоларий (точки 056, 055, 052, 053); пиритизация обломка радиоларии сверху и справа; г) каолинизация (точки 068, 067) карбонатизированного (точка 070) обломка радиоларии [4]

Наличие большого количества пирита отмечается по спектрометрии увеличением содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и S, по данным ГИС пиритизация выделяется повышенными значениями гамма-каротажа (ГК) и низкими сопротивлениями по отношению к вмещающим породам, также часто эти интервалы более разуплотненные по данным гамма-гамма каротажа плотностного (ГГКп) и акустического каротажа (АК) (см. рис. 5).

Отнести по ГИС большинство карбонатных разностей БС к определенному типу фации, диагенеза или катагенеза не представляется возможным, поэтому они и были объединены в один литотип — «вторичный карбонат».

По геофизическим данным этот литотип выделяется, так же как в терригенном разрезе, минимальными значениями ГК и АК, повышенными значениями бокового каротажа (БК), ГГКп, нейтронного каротажа по тепловым нейтронам (НКТ). Спектрометрия в данных интервалах показывает резкое увеличение содержания оксидов кальция и магния (см. рис. 5).

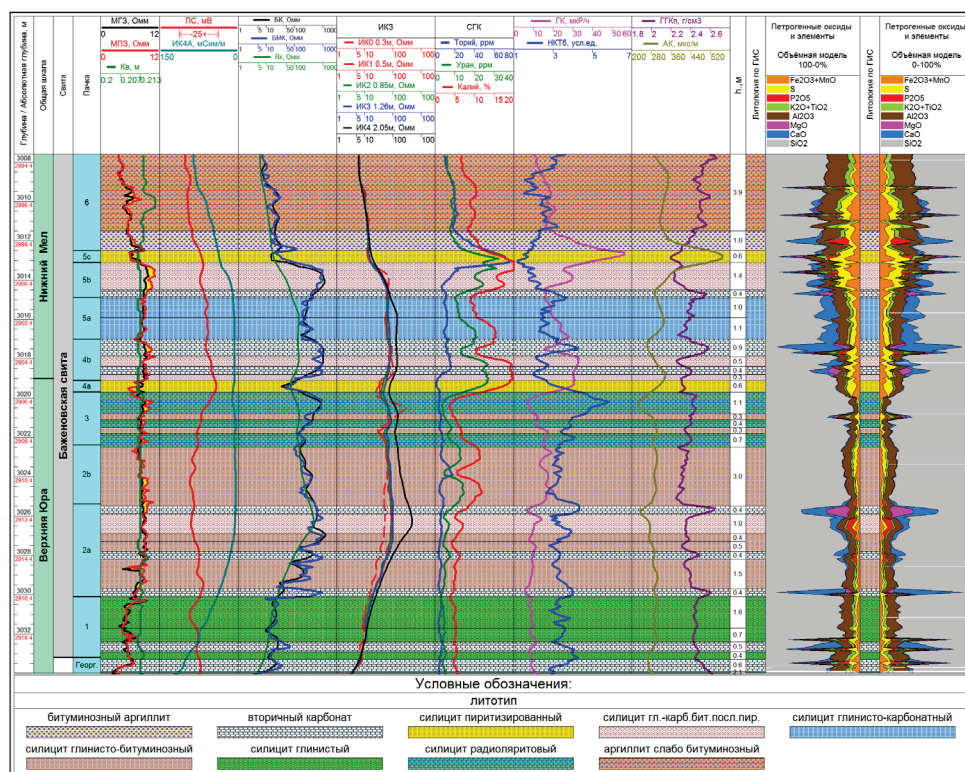


Рис. 5. Литотипизация разреза баженовской свиты по данным ГИС и спектрометрии — скв. 401Р

Литотип силицит глинисто-карбонатный стратиграфически приурочен к пачке «5а», выделяется по спектрометрии повышенными значениями карбонатных и глинистых соединений, период осадконакопления данных отложений связан с расцветом популяций аммонитов, теутид, рыб и бухий, также отмечено увеличение количества останков водорослей с карбонатным скелетом. Преобладание в литифицируемой массе карбонатных нектона и бентоса влечет за собой образование ракушечников в процессе диагенеза, данный факт подтверждается по ГИС более низкими (в сравнении с вторичными карбонатами) значениями по ГГКп, НКТ, БК и АК, подтверждающими меньшую плотность пород ввиду их брекчиевидного строения.

Характерной особенностью выделения данного литотипа и пачки по ГИС являются более низкие регистрируемые значения и расположение их в центре между двух максимумов по ГК и БК, хорошо различимых в верхней части баженовской свиты (см. рис. 5).

Карбонатные литологические разности по временному методическому руководству по подсчету запасов нефти в трещинных и трещинно-поровых коллекторах в отложениях баженовской толщи, утвержденные государственной комиссией по запасам полезных ископаемых (ВМР ГКЗ) [3, 5], относятся к продуктивным с 50 %-й эффективной нефтенасыщенной толщиной (см. таблицу).

Опыт разработки Средне-Назымского месторождения [2] показал, что наиболее продуктивной в разрезе БС является пачка «3», сложенная преимущественно кремнисто-карбонатными радиоляритами, ВМР ГКЗ также выделяет кремнистые интервалы в продуктивные, со 100 %-й эффективной нефтенасыщенной толщиной (см. таблицу).

В разрезе БС Имилорского месторождения выделен литотип силицит радиоляритовый, который стратиграфически залегает только в интервале пачки «З», отличительной особенностью которого является его минеральный состав, сложенный на 95 % кремнистыми соединениями, что подтверждается спектрометрическими данными по двум скважинам 401Р и 412Р (см. рис. 1).

По данным ГИС кремнистый интервал выделяется резким падением радиоактивного фона почти до уровня вмещающих пород, а за счет вторичного окремнения скелетов и матрицы данный интервал достаточно плотный и твердый, что подтверждают повышенные значения НКТ, БК и ГТКп (см. рис. 5).

По палеонтологическим данным осадконакопление силицитов радиоляритовых происходило в период повышенной биопродуктивности высоко конических многокамерных радиолярий, что привело к накоплению радиоляриевых илов [1, 2], сформировавших пласты мощностью в первые метры.

Остальные литотипы выделялись и получали свои названия исходя из содержания в них по данным спектрометрии кремнистых ( $\text{SiO}_2$ ), карбонатных ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ) и глинистых ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) соединений, а также значений ГК, БК, показывающих в интервалах неколлекторов (по ВМР ГКЗ отнесены к неколлекторам (см. таблицу)) уровень содержания керогена и битуминозности.

Выделение в БС интервалов «неколлекторов» также важно, поскольку только комплексная литологическая характеристика позволяет точно выделять продуктивные интервалы, используя ярко выраженные закономерные характеристики изменения кривых ГИС в соответствующих пачках и литотипах по отношению друг к другу.

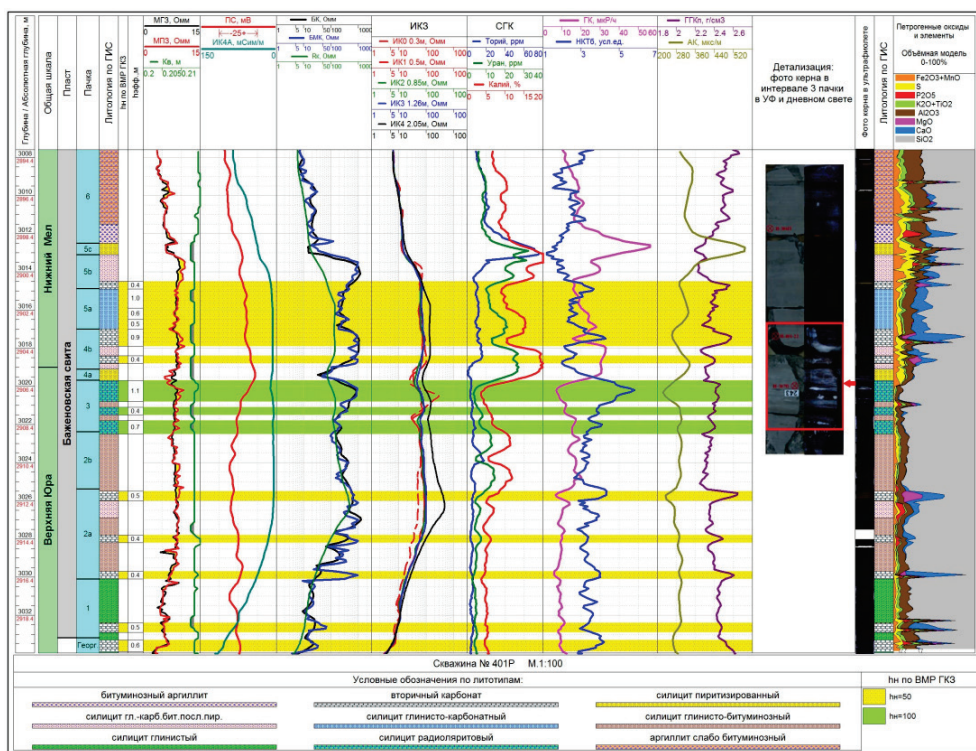


Рис. 6. Расчленение разреза БС по данным ГИС, спектрометрии и фотографиям керн в УФ свете — скв. 401Р

## Обсуждение

На рисунках 6 и 7 представлены две характерные скважины 401Р и 108Р, соответствующие высокому и низкому уровню информационной наполненности по данным ГИС и керну.

В скв. 401Р отмечены признаки продуктивности по свечению керна в ультрафиолетовом свете (УФ), отнесенные после увязки к продуктивным силицитам радиоляритовым (см. рис. 6).

Скв. 108Р после многолетнего простоя во время расконсервации выбросила 9,5 м<sup>3</sup> нефти, изучение дела скважины показало, что вероятным источником насыщения могут быть только баженовские отложения.

Наработанная методика расчленения разреза БС позволила выдать результаты интерпретации геофизических исследований скважин и предложить ряд мер для уточнения интервала продуктивности.

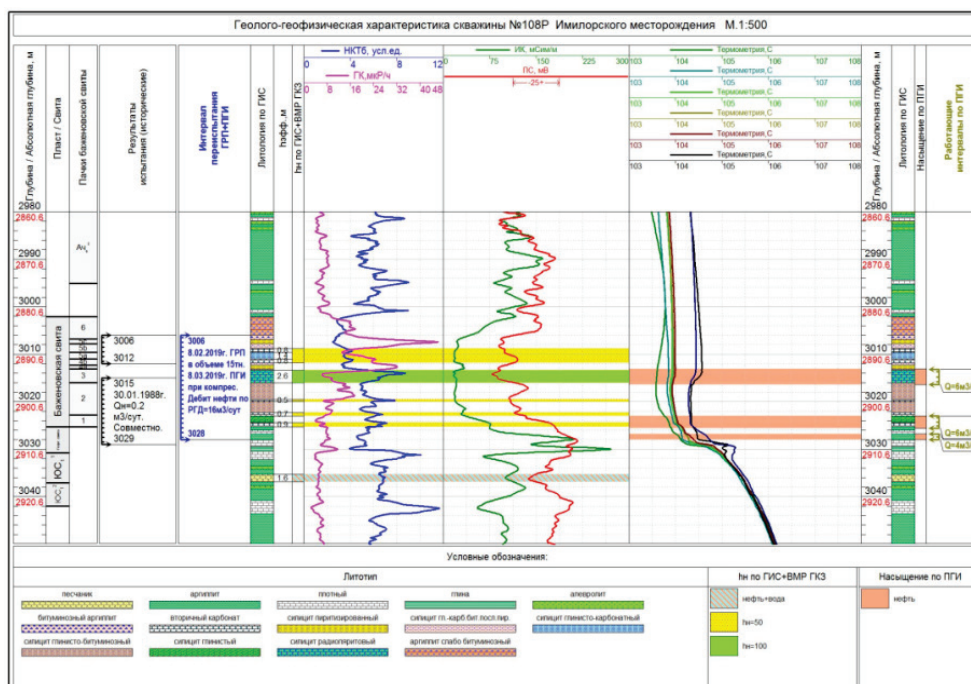


Рис. 7. Расчленение разреза БС по данным ГИС — скв. 108Р

Проведенные мероприятия, гидравлический разрыв пласта (ГРП) и промысловые геофизические исследования (ПГИ) подтвердили нефтенасыщенность силицитов радиоляритов и вторичных карбонатов, в итоге получен приток нефти с суммарным дебетом 16 м<sup>3</sup>/сут (см. рис. 7).

## Выводы

Использование представленной концепции литотипизации позволяет выполнять интерпретацию в скважинах с расширенным и ограниченным комплексом ГИС и рекомендуется для использования как при оперативном сопровождении проектов по битуминозным отложениям, так и при проведении научно-исследовательских работ по ним.

### Библиографический список

1. Комплексы палеобиоты в абалакско-баженовских отложениях центральной части Западной Сибири [Электронный ресурс] / И. В. Панченко [и др.] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т. 10. – № 2. – Режим доступа: [http://www.ngtp.ru/rub/2/24\\_2015.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/2/24_2015.pdf). DOI: 10.17353/2070-5379/24\_2015
2. Обзор результатов разработки баженовской свиты в связи с ее геологическим строением и пластовыми условиями (на примере Средне-Назымского и Салымского месторождений) / В. Д. Немова [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2017. – № 1. – С. 38–45.
3. Временное методическое руководство по подсчету запасов нефти в трещинных и трещинно-поровых коллекторах в отложениях баженовской толщи Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [Электронный ресурс] // Недропользование XXI век. – 2017. – № 4. – С. 70–100. – Режим доступа: [http://naen.ru/journal\\_nedropolzovanie\\_xxi/arkhiv-zhurnala/2017/4\\_trudnoizvlekaemye\\_zapasy\\_prirodnikh\\_uglevodorodov\\_nastoyashchee\\_i\\_budushchee/](http://naen.ru/journal_nedropolzovanie_xxi/arkhiv-zhurnala/2017/4_trudnoizvlekaemye_zapasy_prirodnikh_uglevodorodov_nastoyashchee_i_budushchee/).
4. Генетические аспекты формирования баженовской свиты и критерии прогноза ее промышленной продуктивности [Электронный ресурс] / Т. А. Коровина [и др.] // Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика. – 2014. – № 2 (10). – Режим доступа: [http://oilgasjournal.ru/vol\\_10/korovina.pdf](http://oilgasjournal.ru/vol_10/korovina.pdf).
5. Калмыков Г. А. Строение баженовского нефтегазоносного комплекса как основа прогноза дифференцированной нефтепродуктивности: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – М., 2016. – 391 с.

### References

1. Panchenko, I. V., Balushkina, N. S., Baraboshkin, E. Yu., Vishnevskaya, V. S., Kalmykov, G. A., & Shurekova, O. V. (2015). Complexes of paleobiota in Abalak-Bazhenov deposits in the central part of Western Siberia. *Neftgazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 10(2). (In Russian). Available at: [http://www.ngtp.ru/rub/2/24\\_2015.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/2/24_2015.pdf). DOI: 10.17353/2070-5379/24\_2015
2. Nemova, V. D., Panchenko, I. V., Il'in V. S., & Smirnova M. E. (2017). Review of the results of bazhenov suite development in connection with its geological structure and reservoir conditions (on the example of Mid-Nazym and Salym fields). *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, (1), pp. 38-45. (In Russian).
3. Vremennoye metodicheskoye rukovodstvo po podschetu zapasov nefiti v treshchinnykh i treshchinno-porovykh kollektorakh v otlozheniyakh bazhenovskoy tolshchi Zapadno-Sibirskoy neftegazonosnoy provintsii. (2017). *Nedropol'zovaniye XXI vek*, (4), pp. 70-100. (In Russian). Available at: [http://naen.ru/journal\\_nedropolzovanie\\_xxi/arkhiv-zhurnala/2017/4\\_trudnoizvlekaemye\\_zapasy\\_prirodnikh\\_uglevodorodov\\_nastoyashchee\\_i\\_budushchee/](http://naen.ru/journal_nedropolzovanie_xxi/arkhiv-zhurnala/2017/4_trudnoizvlekaemye_zapasy_prirodnikh_uglevodorodov_nastoyashchee_i_budushchee/).
4. Korovina, T. A., Kropotova, E. P., Gulyaev, S. V., Kritskiy, I. L., & Shadrina, S. V. (2014). On genesis of Bazhenov suite and prediction of industrial oil productivity. *Mineral resources. Geological power energy. Geopolitics*, (2(10)). (In Russian). Available at: [http://oilgasjournal.ru/vol\\_10/korovina.pdf](http://oilgasjournal.ru/vol_10/korovina.pdf).
5. Kalmykov, G. A. (2016). *Stroenie bazhenovskogo neftegazonosnogo kompleksa kak osnova prognoza differencirovannoy nefteproduktivnosti*. Diss. dokt. geol.-mineral. nauk. Moscow, 391 p. (In Russian).

### Сведения об авторах

**Смоляков Геннадий Анатольевич**, главный специалист, Центр геологического моделирования и подсчета запасов, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИ-нефть», г. Тюмень, e-mail: [Smolyakov-GA@tmn.lukoil.com](mailto:Smolyakov-GA@tmn.lukoil.com)

### Information about the authors

**Gennady A. Smolyakov**, Main Specialist, Center for Geological Modeling and Reserves Estimation, KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC, Tyumen, e-mail: [SmolyakovGA@tmn.lukoil.com](mailto:SmolyakovGA@tmn.lukoil.com)

**Гришкевич Владимир Филиппович**,  
д. г.-м. н., главный специалист, Центр  
геологического моделирования и подсчета  
запасов, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-  
Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть»,  
г. Тюмень

**Москаленко Наталья Юрьевна**,  
начальник управления, Центр геологического  
моделирования и подсчета запасов, филиал  
ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «Когалым-  
НИПИнефть», г. Тюмень

**Гильманова Наталья Вячеславовна**,  
к. г.-м. н., доцент кафедры прикладной  
геофизики, Тюменский индустриальный  
университет, г. Тюмень

**Vladimir F. Grishkevich**, Doctor of Geolo-  
gy and Mineralogy, Main Specialist, Center for  
Geological Modeling and Reserves Estimation,  
KogalymNIPIneft Branch of LUKOIL-  
Engineering LLC, Tyumen

**Natalia Yu. Moskalenko**, Head of Depart-  
ment, Center for Geological Modeling and  
Reserves Estimation, KogalymNIPIneft Branch  
of LUKOIL-Engineering LLC, Tyumen

**Natalia V. Gilmanova**, Candidate of Geol-  
ogy and Mineralogy, Associate Professor at the  
Department of Applied Geophysics, Industrial  
University of Tyumen