

**ПРОГНОЗ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ  
НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ  
(НА ПРИМЕРЕ РАЗРЕЗОВ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ ХМАО)**

***Михаил Александрович Фомин***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, к.г.-м.н., зав. лабораторией, e-mail: FominMA@ipgg.sbras.ru; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2, старший преподаватель кафедры геологии месторождений нефти и газа ГГФ

***Рашид Маратович Саитов***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, младший научный сотрудник, e-mail: SaitovRM@ipgg.sbras.ru

***Елена Анатольевна Костырева***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, к.г.-м.н., старший научный сотрудник, e-mail: KostyrevaEA@ipgg.sbras.ru

***Светлана Владимировна Рыжкова***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, к.г.-м.н., старший научный сотрудник, e-mail: RzhkovaSV@ipgg.sbras.ru; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа ГГФ

***Инга Сергеевна Сотнич***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, научный сотрудник, e-mail: SotnichIS@ipgg.sbras.ru

***Вика Георгиевна Эдер***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, к.г.-м.н., старший научный сотрудник, e-mail: EderVG@ipgg.sbras.ru

В статье представлена разработанная авторами методика расчета литологического состава баженовской свиты Западной Сибири. Она основывается на выявленных взаимосвязях между минерально-компонентным составом пород и их физическими свойствами. Обоснован физический смысл выявленных связей. Показана удовлетворительная сходимость расчетных значений и данных по керну. Описаны возможности использования разработанной методики в скважинах, не охарактеризованных керновым материалом, и ограничения для ее применения.

**Ключевые слова:** баженовская свита, керн, ГИС, литологический состав, методика

## **PREDICTION OF THE LITHOLOGICAL COMPOSITION OF THE BAZHENOV FORMATION BASED ON INTEGRATED INTERPRETATION OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL MATERIALS (ON THE EXAMPLE OF CROSS-SECTIONS IN THE NORTHERN REGIONS OF KHANTY-MANSI AUTONOMOUS AREA)**

### ***Mikhail A. Fomin***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., PhD, Head of the Laboratory, e-mail: FominMA@ipgg.sbras.ru; Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, 2, Pirogova st., Senior Lecturer.

### ***Rashid M. Saitov***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., Junior Researcher, e-mail: SaitovRM@ipgg.sbras.ru

### ***Elena A. Kostyreva***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., Senior Researcher, e-mail: KostyrevaEA@ipgg.sbras.ru

### ***Svetlana V. Rizhkova***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., Senior Researcher, e-mail: RizhkovaSV@ipgg.sbras.ru; Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, 2, Pirogova st., Assistant Professor.

### ***Inga S. Sotnich***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., Researcher, e-mail: SotnichIS@ipgg.sbras.ru

### ***Vika G. Eder***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., Senior Researcher, e-mail: EderVG@ipgg.sbras.ru

The article presents a methodology developed by the authors for calculating the lithological composition of the Bazhenov Formation in Western Siberia. It is based on the identified relationships between the mineral-component composition and physical properties of rocks. The physical meaning of the identified connections has been substantiated. Satisfactory convergence of the calculated values and core data is shown. Possibilities of using the developed technique in wells not characterized by core material and limitations for its application are described.

**Keywords:** Bazhenov Formation, core, well-logging data, lithological composition, methods

Баженовская свита является основным объектом для прироста запасов нефти в зрелой Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции на средне- и долгосрочную перспективу. В настоящее время ведущие недропользователи страны ведут опытно-промышленную эксплуатацию этих отложений на своих лицензионных участках. Объемы добычи нефти из этих низкопроницаемых пород в значительной степени определяются их литологией.

Особенностью баженовской свиты на севере Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) является значительное количество в верхней части разреза карбонатных конкреций, которые содержатся, главным образом, в «кокколито-

вой» пачке в верхней части свиты [1], представленной микститами кероген-карбонатно-кремнистыми. Средняя часть разреза состоит из темно-серых микститов кероген-кремнистых с прослоями силицитов-радиоляритов с частыми прослоями реликтов раковин двустворок. В нижней половине разреза преобладают темно-бурые массивные силициты и силициты керогеновые с прослоями радиоляритов. Восточнее, на Повховской площади, в нижней части свиты присутствует пачка карбонатизированных радиоляритов [1].

Важной особенностью баженовской свиты является неоднородность ее минерально-компонентного состава по разрезу [1, 2]. Кроме того, разрезы, находящиеся друг от друга на расстоянии несколько десятков километров, могут быть существенно различными [3, 1, 2]. Эти различия обусловлены особенностями седиментации и постседиментационных преобразований пород баженовских отложений. Соответственно, для детального понимания геологии этой свиты необходимо изучать керн по густой сетке скважин (каждые 5-10 км), что попросту невозможно ввиду большой дороговизны и длительности аналитических исследований керна.

Ранее были предложены методики расчета литотипов (по данным ГИС) в разрезе баженовской свиты на Салымском месторождении [4, 5]. На наш взгляд, такой подход вносит некоторый субъективизм в оценку литологии этой толщи, поскольку разными коллективами [6, 5, 7, 8] породы баженовской свиты классифицируются по-разному. Наиболее объективным нам кажется расчет (на основе данных ГИС) содержания основных породообразующих компонентов баженовской свиты. Наряду с кремнистым, глинистым, карбонатным материалом и органическим веществом, значимым минеральным компонентом является и образовавшийся в диагенезе пирит, содержание которого в некоторых образцах в верхней части разреза превышает 10 % [9].

Известны литологические модели, основанные на успешной литолого-электрофизической интерпретации данных электромагнитных зондирований для определения вещественного состава баженовской свиты [10, 11].

В настоящей статье предлагается методика расчета литологического состава баженовской свиты на основе данных электрического и радиоактивного каротажа. Представленный авторами подход основан на выявлении и обосновании физических связей между минерально-компонентным составом пород и данными указанных видов каротажа.

В качестве объектов исследования выбраны разрезы баженовской свиты в северной части ХМАО (Рис. 1). В скважине Дружная I авторами выявлены физические связи между литологическим составом баженовской свиты и данными электрического (БК – боковой каротаж, микрокаротаж: МГЗ – микроградиент зонд, МПЗ – микропотенциал зонд, МБК – микробоковой каротаж) и радиоактивного (ГК – гамма-каротаж, НГК – нейтронный гамма-каротаж, НКТЬ и НКТМ – нейтронный каротаж по тепловым нейтронам (большой и малый зонды), ГГК-П – гамма-гамма плотностной каротаж) каротажа. Для корректного выполнения исследования все данные ГИС были нормированы, т.е. пересчитаны в диапазоне от 0 до 1 по методике, приведенной в работе [5]. Скважина Дружная I считается

базовой скважиной для дальнейших исследований. После этого в программном пакете GeoOffice Solver с помощью статистических графиков были проанализированы трехмерные зависимости содержания каждого компонента от данных нескольких видов каротажа, которые послужили основой расчета их содержания в породе.

### Результаты

Радиоактивность черносланцевых пород находится в тесной связи с содержанием в них органического вещества (ОВ) [12, 13], которое является сорбентом урана из морской воды. Соответственно, чем выше в толще концентрация ОВ, тем выше будет радиоактивность таких отложений. Основным фактором, влияющим на современную плотность пород баженовской свиты, является содержание в ней органического вещества (керогена согласно [6]) и глинистых минералов. В верхней приграничной части разреза баженовской свиты концентрация органического вещества уменьшается, возрастает содержание пирита. В перекрывающих породах мегиионской свиты увеличивается количество глинистых минералов, следствием чего является увеличение общей плотности пород. Эта закономерность прослеживается и в полученных авторами результатах. Содержание органического вещества в баженовской свите имеет устойчивую связь с радиоактивным каротажем: ГК (Рис. 2а), ГГК-П (Рис. 2б), НКТБ, а концентрации глинистых минералов в БС и перекрывающих отложениях лучше всего коррелируют с ГГК-П (рис. 3).

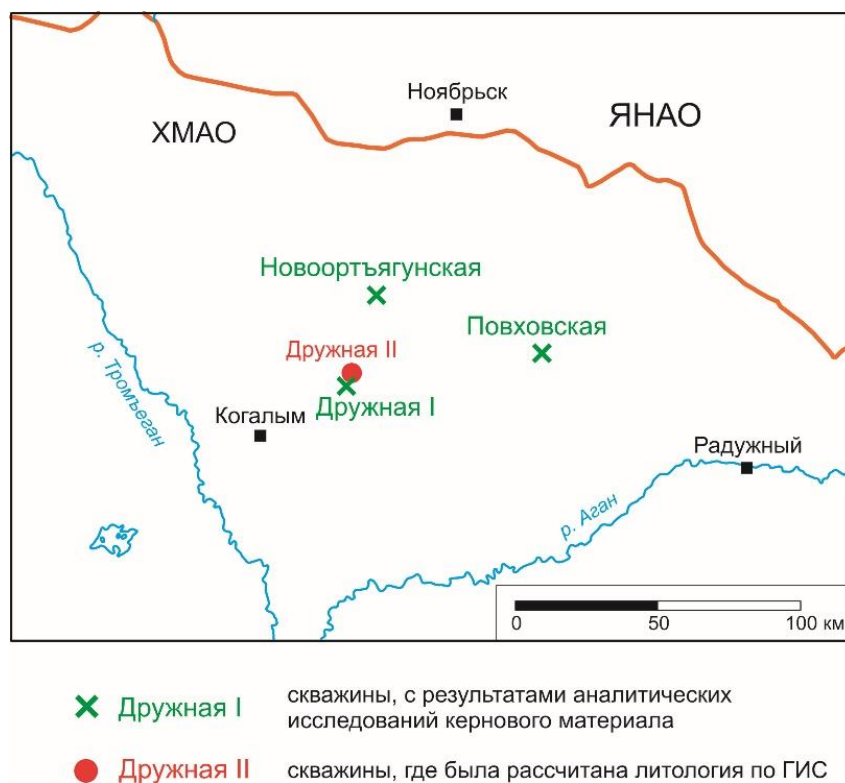


Рис. 1 Обзорная карта территории исследования

Концентрации пирита находятся в тесной корреляции с удельным электрическим сопротивлением – значениями бокового и микробокового каротажа. Такие устойчивые связи объясняются тем, что содержание пирита в большинстве случаев тесно связано с концентрациями ОВ [5, 9] (в том числе и жидких углеводородов) баженовской свиты, которые, в свою очередь, характеризуются высоким электрическим сопротивлением.

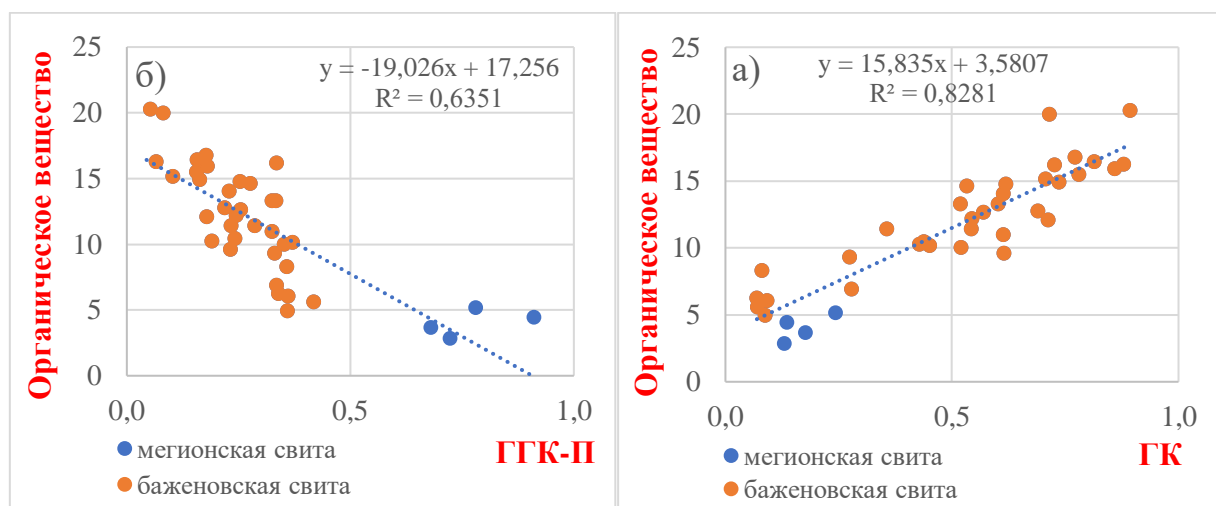


Рис. 2 Взаимосвязь содержания органического вещества и значений гамма-каротажа (а) и гамма-гамма плотностного (б) каротажа

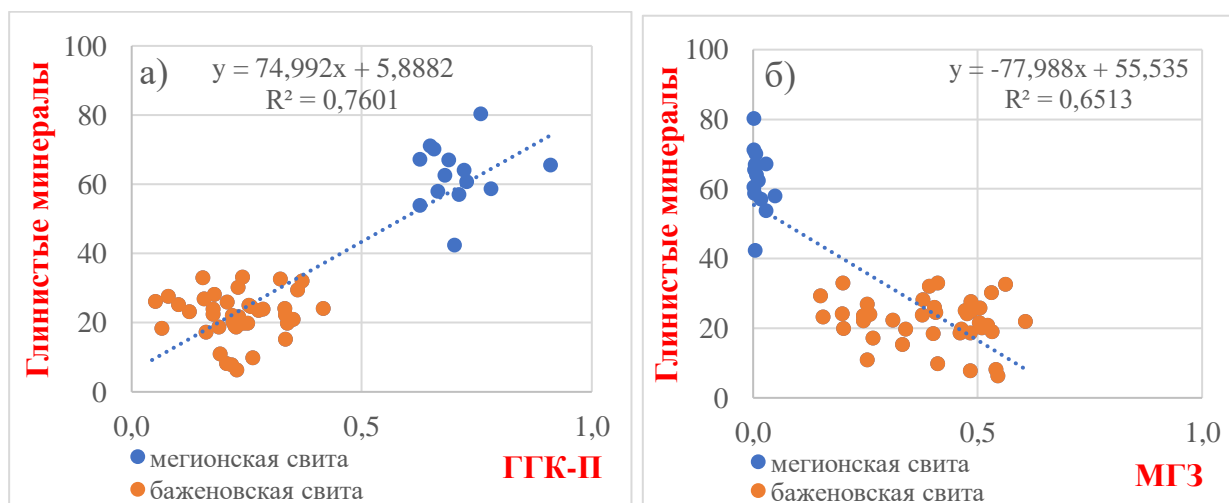


Рис. 3 Взаимосвязь содержания глинистых минералов и значений гамма-гамма плотностного (а) каротажа и значений микроградиент зонда (б)

Содержание кремнистого материала имеет хорошо выраженную связь с удельным электрическим сопротивлением пород. Концентрации карбонатного материала коррелируют со значениями нейтронного каротажа и удельным электрическим сопротивлением.

Полученные расчетные кривые хорошо увязываются с данными по керну (Рис. 4), что подтверждается высокими значениями величины достоверной аппроксимации ( $R^2$ ), которая для разных компонентов изменяется от 0.7 до 0.88. Представленная объемная модель (Рис. 4) наглядно показывает относительное содержание основных породообразующих компонентов в баженовской свите и их распределение по разрезу.

На основе установленных взаимосвязей керн-ГИС было рассчитано содержание основных компонентов в скважине Дружная II, которая находится на расстоянии около 5 км от скважины Дружная I (Рис. 1). Близкое расположение скважин и единые диапазоны значений всех видов ГИС позволяют предполагать схожий литологический состав баженовской свиты, поэтому полученные расчетные данные можно считать кондиционными. Важно отметить, что сумма полученных расчетных значений содержания породных компонентов в скважине Дружная II составила около 100% в каждой точке разреза.

Используя зависимости керн-ГИС, полученные в скважине Дружная I, был рассчитан литологический состав баженовской свиты в скважине Повховская, расположенной примерно в 35 км (Рис. 5). Было установлено, что расчетные кривые содержания кремнистого материала и пирита неудовлетворительно сопоставляются с данными по керну. Расчетное содержание органического вещества, глинистого и карбонатного материалов также хуже коррелирует с фактическими данными, чем в базовой скважине. В этой связи сделан вывод о невозможности корректного использования выявленных связей керн-ГИС на таких расстояниях от базовой скважины.

Также предлагаемая методика расчета не применима в сильно слоистых разрезах, когда образцы, отобранные на расстоянии 5-7 см друг от друга, имеют значимо разный минеральный состав. Например, верхняя часть разреза на

Новоортьягунской площади представлена переслаиванием микститов кероген-глинисто-кремнистых и кероген-кремнисто-карбонатных с реликтами кокколлит. Толщина этих прослоев составляет 3-5 см [2], что намного меньше разрешающей способности приборов ГИС, не превышающей 30-40 см. В таких слоистых разрезах породы с существенно разной литологией будут иметь одинаковые значения физических параметров, что не позволяет установить связи керн-ГИС.

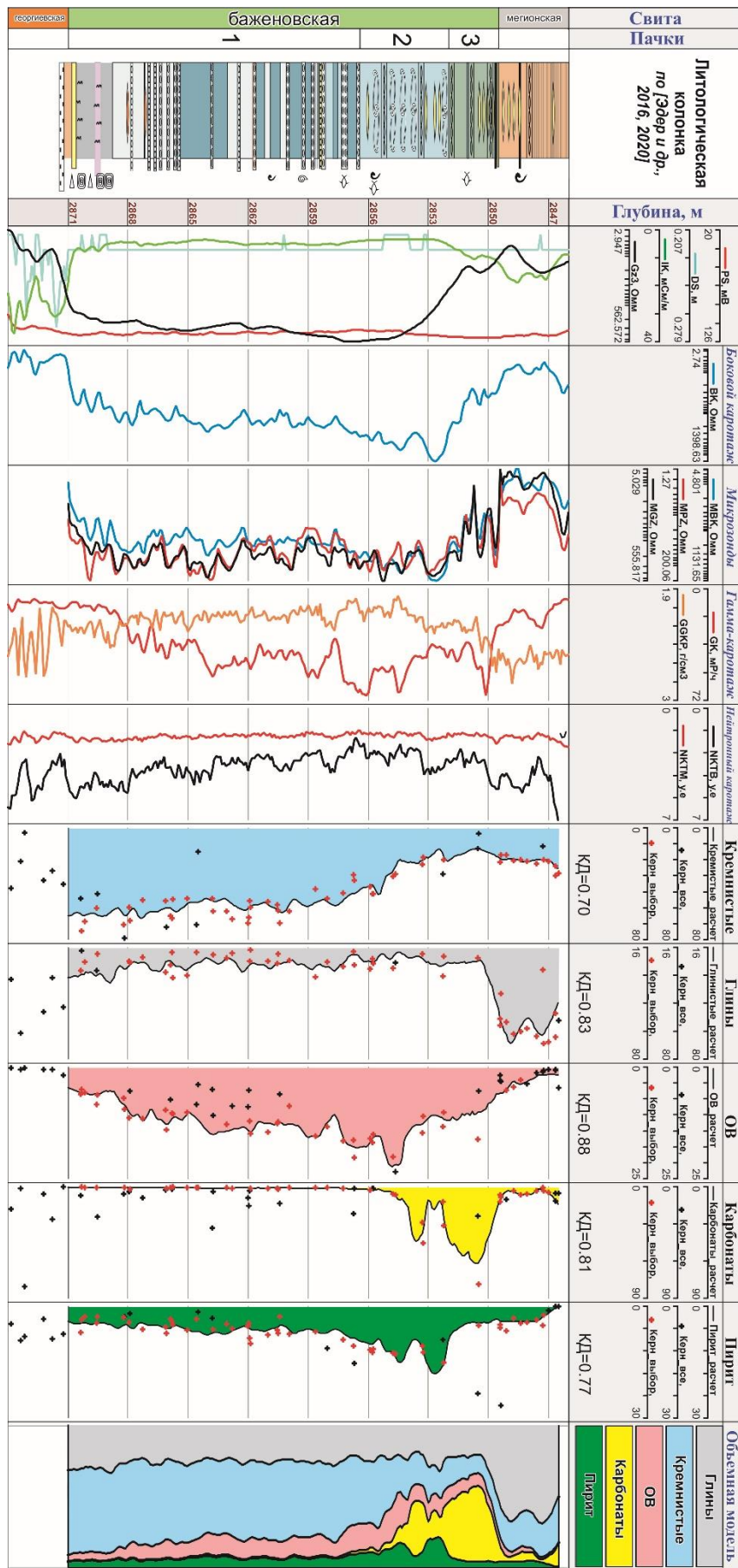


Рис. 4 Геолого-геофизический планшет по скважине Дружная I



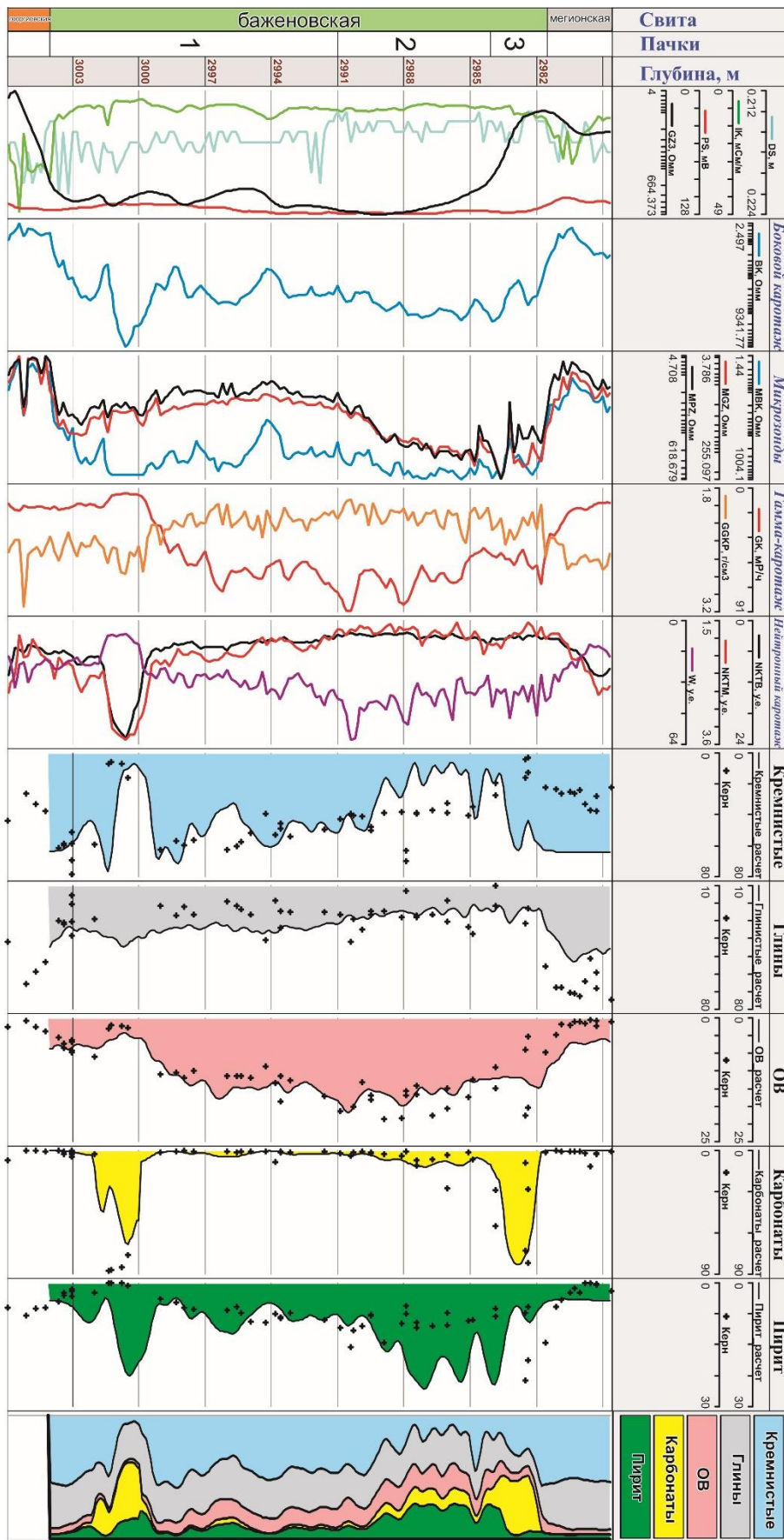


Рис. 5 Геолого-геофизический планшет по скважине Повховская



## Выводы

На основе анализа данных широкого комплекса электрического и радиоактивного каротажа и результатов аналитических исследований керна разработана методика расчета концентраций основных породообразующих компонентов баженовской свиты, построена их объемная модель для одной из скважин Дружной площади. Показано, что полученные зависимости можно использовать для достоверного расчета литологического состава баженовской свиты в близко расположенных скважинах, не охарактеризованных керновым материалом. Обоснована невозможность использования предлагаемой методики в тонкослоистых разрезах ввиду того, что толщина прослоев намного меньше разрешающей способности геофизических скважинных зондов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке проектов Программы ФНИ 0266-2019-0006 и № 0331-2019-0022, а также Проекта РФФИ 20-35-90049 Аспиранты.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Жигульский И.А. Литология баженовской свиты в районах Хантейской гемиантеклизы и Межовского мегамыса Западно-Сибирского нефтегазонального бассейна // Геология нефти и газа. – 2016. – № 6. – С. 87 – 96.
2. Эдер В.Г., Костырева Е.А., Юрченко А.Ю., Балущкина Н.С., Сотнич И.С., Козлова Е.В., Замирайлова А.Г., Савченко Н.И. Новые данные о литологии, органической геохимии и условиях формирования баженовской свиты Западной Сибири // Георесурсы. – 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 129-142.
3. Коробова Н.И., Макарова О.М., Калмыков Г.А., Петракова Н.Н., Юрченко А.Ю., Шарафутдинов В.Ф., Корост С.Р., Калабин В.В. Основные типы разрезов нефтеносной баженовской свиты на северо-востоке Сургутского свода // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2015. – № 5. – С.54-61.
4. Павлова М.А., Эдер В.Г., Замирайлова А.Г. Модель баженовской свиты на примере данных участка Салымского месторождения // Геология нефти и газа. – 2015. – №3. – С. 57-62.
5. Калмыков Г.А., Балущкина Н.С. (2017). Модель нефтенасыщенности порового пространства пород баженовской свиты Западной Сибири и ее использование для оценки ресурсного потенциала. – М: ГЕОС. – 246 с.
6. Конторович А.Э., Ян П.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Эдер В.Г. Классификация пород баженовской свиты // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57. – № 11. – С. 2034-2043.
7. Макарова О.М., Коробова Н.И., Калмыков А.Г., Калмыков Г.А., Балущкина Н.С., Белохин В.С., Козлова Е.В., Косоруков В.Л., Мануилова Е.А. Основные типы пород баженовской свиты на Сургутском своде и сопредельных территориях // Георесурсы. – 2017. – С. 155-164.
8. Немова В.Д. Многоуровневая литологическая типизация пород баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 8. – С. 13-17.
9. Эдер В.Г. Пиритизация пород зон перехода черносланцевой толщи к вмещающим отложениям на примере баженовской свиты Западной Сибири // Литология и полезные ископаемые. – 2020. – № 3. – С. 257-271.
10. Глинских В.Н., Федосеев А.А. Новый подход к литолого-электрофизической интерпретации данных электромагнитных зондирований в интервалах баженовской свиты // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2019. – № 4. – С. 80-88.
11. Эпов М.И., Глинских В.Н., Петров А.М., Сухорукова К.В., Федосеев А.А., Нечаев О.В., Никитенко М.Н. Частотная дисперсия электрофизических характеристик и электриче-

ская анизотропия пород баженовской свиты по данным электрокаротажа // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 9. – С. 62-64.

12. Неручев С.Г. Эпохи радиоактивности в истории Земли и развитие биосферы // Геология и геофизика. – 1976. – № 5. – С. 3-13.

13. Неручев С.Г. Взаимосвязь эпох накопления органического вещества и урана с рубежами развития органического мира // Геохимия современных ископаемых осадков: Материалы VIII Международного конгресса по органической геохимии – 1982. – С. 5-15.

## REFERENCES

1. Eder V.G., Zamirajlova A.G., ZHigul'skij I.A. Litologiya bazhenovskoj svity v rajonah Hantejskoj gemianteklizy i Mezhovskogo megamysa Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo bassejna // Geologiya nefi i gaza. – 2016. – № 6. – S. 87 – 96.

2. Eder V.G., Kostyreva E.A., Yurchenko A.YU., Balushkina N.S., Sotnich I.S., Kozlova E.V., Zamirajlova A.G., Savchenko N.I. Novye dannye o litologii, organicheskoy geohimii i usloviyah formirovaniya bazhenovskoj svity Zapadnoj Sibiri // Georesursy. – 2019. – T. 21. – № 2. – S. 129-142.

3. Korobova N.I., Makarova O.M., Kalmykov G.A., Petrakova N.N., Yurchenko A.YU., SHarafutdinov V.F., Korost S.R., Kalabin V.V. Osnovnye tipy razrezov neftenosnoj bazhenovskoj svity na severo-vostoke Surgut'skogo svoda // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya. – 2015. – № 5. – S.54-61.

4. Pavlova M.A., Eder V.G., Zamirajlova A.G. Model' bazhenovskoj svity na primere dannyh uchastka Salym'skogo mestorozhdeniya // Geologiya nefi i gaza. – 2015. – №3. – S. 57-62.

5. Kalmykov G.A., Balushkina N.S. (2017). Model' neftenasyshchennosti porovogo prostranstva porod bazhenovskoj svity Zapadnoj Sibiri i ee ispol'zovanie dlya ocenki resursnogo potentsiala. – M: GEOS. – 246 s.

6. Kontorovich A.E., YAn P.A., Zamirajlova A.G., Kostyreva E.A., Eder V.G. Klassifikatsiya porod bazhenovskoj svity // Geologiya i geofizika. – 2016. – T. 57. – № 11. – S. 2034-2043.

7. Makarova O.M., Korobova N.I., Kalmykov A.G., Kalmykov G.A., Balushkina N.S., Belohin V.S., Kozlova E.V., Kosorukov V.L., Manuilova E.A. Osnovnye tipy porod bazhenovskoj svity na Surgut'skom svode i sopredel'nyh territoriyah // Georesursy. – 2017. – S. 155-164.

8. 10. Nemova V.D. Mnogourovnevaya litologicheskaya tipizatsiya porod bazhenovskoj svity // Neftyanoe hozyajstvo. – 2019. – № 8. – S. 13-17.

9. Eder V.G. Piritizatsiya porod zon perekhoda chernoslancevoj tolshchi k vmeshchayushchim otlozheniyam na primere bazhenovskoj svity Zapadnoj Sibiri // Litologiya i poleznye iskopaemye. – 2020. – № 3. – S. 257-271.

10. Glinskih V.N., Fedoseev A.A. Novyj podhod k litologo-elektrofizicheskoy interpretatsii dannyh elektromagnitnyh zondirovanij v intervalah bazhenovskoj svity // Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri. – 2019. – № 4. – S. 80-88.

11. Epov M.I., Glinskih V.N., Petrov A.M., Suhorukova K.V., Fedoseev A.A., Nechaev O.V., Nikitenko M.N. SHastotnaya dispersiya elektrofizicheskikh harakteristik i elektricheskaya anizotropiya porod bazhenovskoj svity po dannyam elektrokartotazha // Neftyanoe hozyajstvo. – 2019. – № 9. – S. 62-64.

12. Neruchev S.G. Epohi radioaktivnosti v istorii Zemli i razvitie biosfery // Geologiya i geofizika. – 1976. – № 5. – S. 3-13.

13. Neruchev S.G. Vzaimosvyaz' epoh nakopleniya organicheskogo veshchestva i urana s rubezhami razvitiya organicheskogo mira // Geohimiya sovremennyh iskopaemyh osadkov: Materialy VIII Mezhdunarodnogo kongressa po organicheskoy geohimii – 1982. – S. 5-15.

© М. А. Фомин, Р. М. Саитов, Е. А. Костырева,  
С. В. Рыжкова, И. С. Сотнич, В. Г. Эдер, 2021