

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

GEOLOGY AND GEOECOLOGY

Научная статья
УДК 550.8.053
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-3-23-30>
EDN OBJSKY

Определение литологического состава осадочных пород для построения объемной модели по данным ГИС

*Сергей Михайлович Калягин^{1✉},
Иван Константинович Калинин², Елена Алексеевна Калинина³*

^{1,2} *Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, kalyagin-sergey@lenta.ru*

³ *ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»,
Астрахань, Россия*

Аннотация. Рассмотрены особенности литологического состава продуктивных отложений и их учет при петрофизическом моделировании объемной модели по комплексу ГИС. Отмечено, что на основе рентгеноспектрального и гранулометрического анализа можно получить уверенные сведения о структуре, текстуре, компонентном и минеральном составе с целью уточнения петрофизической характеристики исследуемых пород. На примере двух месторождений «К» и «Н» рассмотрены результаты определения литологического состава осадочных пород по керну из разновозрастных терригенных отложений с целью построения петрофизической модели всего разреза скважины с учетом участков отсутствия информации прямых исследований (шлама и керна). Для исследования тонкодисперсных (глинистых, кремнистых, карбонатных и др.) пород используются электронная микроскопия, а также рентгеноструктурный анализ, имеющие особенно важное значение для точной диагностики минерального состава пород. Помимо особенностей геологического строения месторождения количество и качество исходной информации в значительной степени определяют способы построения модели и получаемые результаты. Результаты рентгеноспектрального анализа дали возможность определить состав химических элементов и количество каждого из элементов в образце. Сведения о минеральном составе пород и литологические различия, выделенные на первом этапе, распределяются на ту часть разреза, где отсутствует или недостаточна информация по керну или шлагограмме. Полученная информация о литологическом составе отложений дает наиболее полное представление о геологическом строении вскрытого скважиной разреза и в дальнейшем используется в качестве основы объемной модели по данным геофизических исследований скважин ГИС.

Ключевые слова: петрофизические исследования, литологический состав, осадочные породы, рентгеноспектральный анализ, гранулометрический анализ

Для цитирования: Калягин С. М., Калинин И. К., Калинина Е. А. Определение литологического состава осадочных пород для построения объемной модели по данным ГИС // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2024. № 3. С. 23–30. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-3-23-30>. EDN OBJSKY.

Determination of the lithological composition of sedimentary rocks for the construction of a volumetric model according to GIS data

Sergey M. Kalyagin^{1✉}, Ivan K. Kalinin², Elena A. Kalinina³

^{1, 2}Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, kalyagin-sergey@lenta.ru✉

³LUKOIL-Engineering, LLC,
Astrakhan, Russia

Abstract. The features of the lithological composition of productive sediments and their consideration in the petrophysical modeling of a volumetric model based on a GIS complex are considered. It is noted that on the basis of X-ray spectral and granulometric analysis, it is possible to obtain reliable information about the structure, texture, component and mineral composition in order to clarify the petrophysical characteristics of the rocks under study. Using the example of two hydrocarbon deposits “K” and “N” the results of determining the lithological composition of sedimentary rocks from core from different age terrigenous deposits are discussed in order to build a petrophysical model of the entire well section, taking into account the areas of lack of information from direct studies (sludge and core). Electron microscopy and X-ray diffraction analysis are used to study finely dispersed (clay, siliceous, carbonate, etc.) rocks, which are especially important for accurate diagnosis of the mineral composition of rocks. In addition to the features of the geological structure of the deposit, the quantity and quality of the initial information largely determine the methods of constructing the model and the results obtained. The results of X-ray spectral analysis made it possible to determine the composition of chemical elements and the amount of each element in the sample. Information about the mineral composition of rocks and the lithological differences identified at the first stage are distributed to the part of the section where there is no or insufficient information on the core or sludge. The information obtained on the lithological composition of sediments gives the most complete picture of the geological structure of the section opened by the well and is further used as the basis of a volumetric model based on the data of geophysical surveys of GIS wells.

Keywords: petrophysical studies, lithological composition, sedimentary rocks, X-ray spectral analysis, granulometric analysis

For citation: Kalyagin S. M., Kalinin I. K., Kalinina E. A. Determination of the lithological composition of sedimentary rocks for the construction of a volumetric model according to GIS data. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2024;3:23-30. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-3-23-30>. EDN OBJSKY.

Введение

Как известно, геология нефти и газа изучает важнейшие полезные ископаемые, генетически пространственно связанные с осадочными породами. Отсюда вытекает приоритетное значение литологии в нефтяной и газовой геологии. В подавляющем большинстве именно осадочные породы являются коллекторами нефти и газа, и литологические свойства этих пород определяют возможность накапливать углеводороды (УВ) и отдавать их процессе разработки. Геометрия фильтрационно-емкостного пространства пород-коллекторов определяется, прежде всего, их структурой, текстурой, компонентным и минеральным составом.

В своей основе петрофизика как наука призвана решать многие задачи геологического моделирования, оценки запасов и разработки месторождений. Выбор алгоритмов оценки подсчетных параметров по данным геофизических исследований скважин (ГИС) зависит от полноты информации двух видов: петрофизических исследований ядра и выполняемого комплекса ГИС. Данные ГИС содержат косвенную информацию о подсчетных параметрах, поэтому они должны настраиваться на

прямую информацию – результаты исследования ядра и испытания скважин. Основной задачей петрофизики является надежное обеспечение методики интерпретации комплекса ГИС [1].

Петрофизическое обеспечение интерпретации данных ГИС с целью определения подсчетных параметров продуктивных пластов базируется на результатах исследования ядра. Важнейшими сведениями о разрезе, которые петрофизики получают по результатам анализов ядрового материала, являются знания литологического состава осадочных пород [2].

По разным оценкам запасы УВ распределяются в коллекторах следующим образом: в песках и песчаниках – от 60 до 80 %; в известняках и доломитах – от 20 до 40 %; в трещиноватых глинистых сланцах, метаморфических и изверженных породах – около 1 %. На территории Российской Федерации более 70 % нефтяных и газовых залежей приурочены к терригенным породам-коллекторам [3].

Уточнить петрофизическую характеристику исследуемых пород, а именно получить уверенные сведения о структуре, текстуре, компонентном и минеральном составе, можно на основе рентгено-спектрального и гранулометрического анализов [4].

В данной статье на примере двух месторождений УВ «К» и «Н» рассмотрены результаты определения литологического состава осадочных пород по керну из разновозрастных терригенных отложений с целью построения петрофизической модели всего разреза скважины с учетом участков отсутствия информации прямых исследований (шлама и керна).

Рентгеноспектральный анализ

Для исследования тонкодисперсных (глинистых, кремнистых, карбонатных и др.) пород используются электронная микроскопия, а также рентгеноспектральный анализ (РСА), имеющие особенно важное значение для точной диагностики минерального состава пород.

По результатам РСА можно определить из каких элементов состоит образец и каково количество каждого из элементов в нем.

Нижнемеловые отложения месторождения «К»

Характеристика нижнемеловых продуктивных пластов приводится по данным макро- и микроописания керна и результатам литологических исследований керна, РСА.

Литологически породы представлены песчаниками, алевролитами и их промежуточными разновидностями с подчиненными прослоями глин.

Основным породообразующим минералом коллекторов является кварц (47–98 %, при среднем содержании ~ 73 %). Содержание полевых шпатов (калиевых разностей (КПШ) и плагиоклазов) достигает 45 %, составляя в среднем ~ 19 % (рис. 1, а).

Глинистый цемент коллекторов представлен сложным полиминеральным составом (рис. 1, б): каолинитом (К) ~ 30 %, гидрослюдой (Гс) ~ 9 %, хлоритом (Хл) ~ 14 %, шамозитом (Ш) ~ 6 %, смешаннослойным материалом (ССМ) – 1,4 % и ассоциациями (среднее содержание ~ 41 %) из гидрослюды и смешаннослойного материала, также хлорита и шамозита.

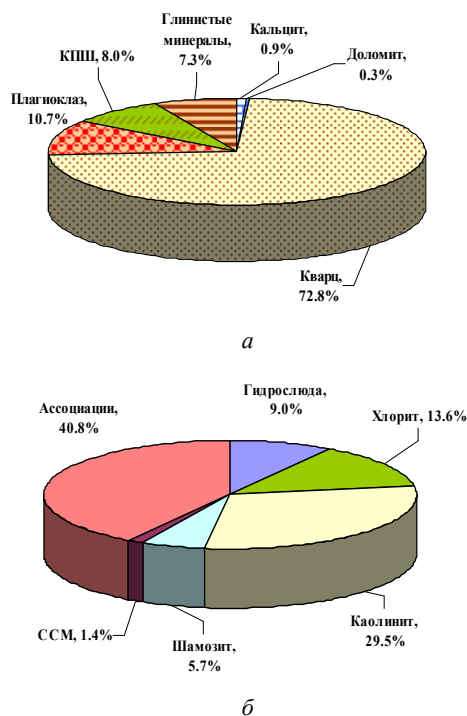


Рис. 1. Минералогический состав песчаников (а) и глинистых минералов (б) в аргиллитах неокомского надъяруса нижнемеловых отложений по результатам РСА керна скважин месторождения «К»

Fig. 1. Mineralogical composition of sandstones (а) and clay minerals (б) in mudstones of the Neocomian Upper tier of Lower Cretaceous sediments according to the X-ray spectral analysis of the core wells of deposit “K”

В данном случае к признакам, благоприятно влияющим на фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) коллекторов, можно отнести преобладание глинистой составляющей каолинита (рис. 2).

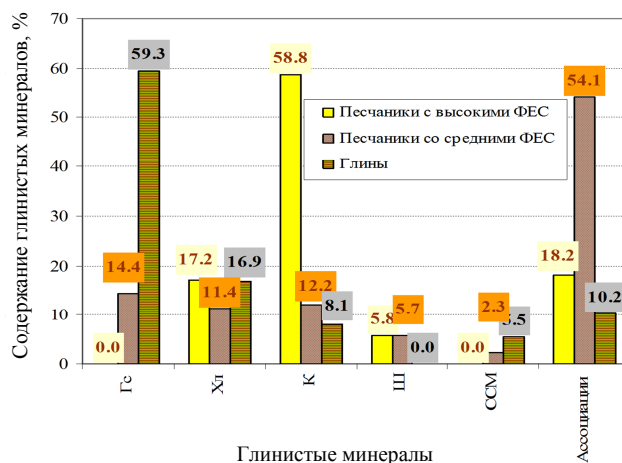


Рис. 2. Сопоставление минерального состава в песчаниках и глинах неокомских отложений по данным РСА (месторождение «К»)

Fig. 2. Comparison of the mineral composition in sandstones and clays of the Neocomian deposits according to X-ray spectral analysis data (deposit “K”)

С увеличением глинистости пород повышается содержание гидрослюдистой компоненты (до ~ 60 %) и изменяется соотношение минералов (доля каолинита снижается до средней величины 8 %, ассоциаций – до 10 %).

Состав глинистых минералов представляет практический интерес для количественной интерпретации ГИС, в первую очередь при определении пористости.

По описанию шлифов породы-коллектора обладают межзерновой поровой емкостью. Микротрещины, зафиксированные на образцах керна, имеют преимущественно техногенный характер (трещины разуплотнения).

Цемент коллекторов в основном порового типа, по составу – глинистый и глинисто-карбонатный. В неколлекторах преобладает кальцитовый цемент,

содержание которого достигает 40 %. Особенностью пород, в цементе которых доминирует карбонатный материал, является относительно невысокая остаточная водонасыщенность и водоудерживающая способность при низких емкостных свойствах.

Среднедевонские отложения месторождения «Н»

Отложения эйфельского яруса среднего девона месторождения «Н» представлены переслаиванием алевролитов, аргиллитов и песчаников с прослойками гравелитов (до 20 см). Породы имеют светлорусую, красновато-коричневую, серую, светло-зеленовато-серую, красноватую, реже темно-серую окраску. Песчаники и алевролиты по составу полевошпатово-кварцевые (кварца 72–66 %, полевых шпатов 10–15 %, обломки пород – до 4 %) (рис. 3). Форма обломочных зерен в породах слабоокатанная, сортировка плохая.

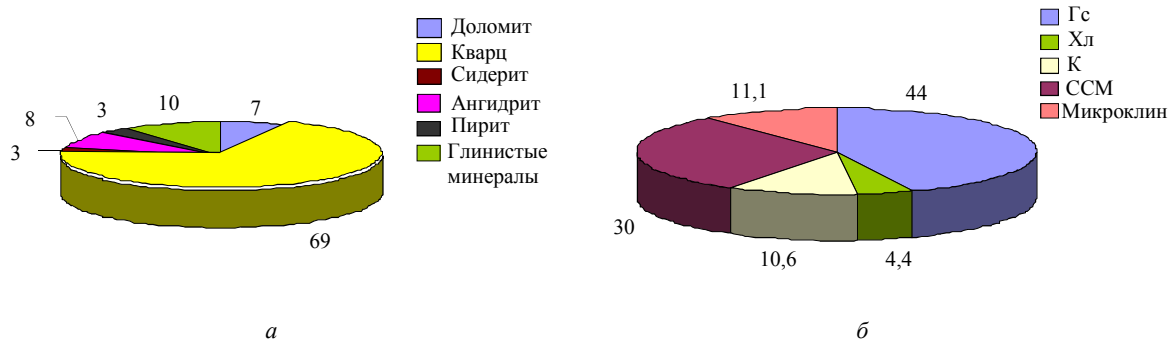


Рис. 3. Минералогический состав песчаников (а) и глинистых минералов (б) в аргиллитах эйфельского яруса среднедевонских отложений по результатам РСА керна скважин месторождения «Н»

Fig. 3. Mineralogical composition of sandstones (a) and clay minerals (b) in the mudstones of the Eiffel tier of the Middle Devonian sediments according to the results of the X-ray spectral analysis of the core wells of deposit “N”

Аргиллит алевролитистый серый, слабо-средней крепости, плотный, тонкослоистый, трещиноватый, субгоризонтальный, тонкослоистый и аргиллит доломитовый, темно-серого, зеленовато-серого цвета, тонкослоистый, субгоризонтальной слоистости, уплотненный, средней степени твердости и крепости.

Цемент (до 15 %) по составу кварц-серицитовый, железистый, реже глинисто-карбонатный. Тип цемента контактово-поровый. В составе обломков пород отмечаются зерна агрегатного кварца, обломки кремнистых пород, единичные, тонкие пластинки мусковита.

Гранулометрический анализ

Для разделения зерен рыхлых пород по грануло-

метрическому составу используется гранулометрический анализ. В результате проведения гранулометрического анализа состава пород возможно получить данные об особенностях распределения частиц по размерам для установления универсальных характеристик фракционного состава.

Нижнемеловые отложения месторождения «К»

В рассматриваемом разрезе коллекторами являются в основном песчаники с преобладающим размером обломков более 0,1 мм (рис. 4).

На долю алевроитовой фракции приходится в среднем 20 %. Содержание пелитовой фракции изменяется в пределах 1,1–29,2 % со средним значением 7,3 %. Глины преимущественно алевроитистые – доля пелитовой фракции не превышает 60 %.

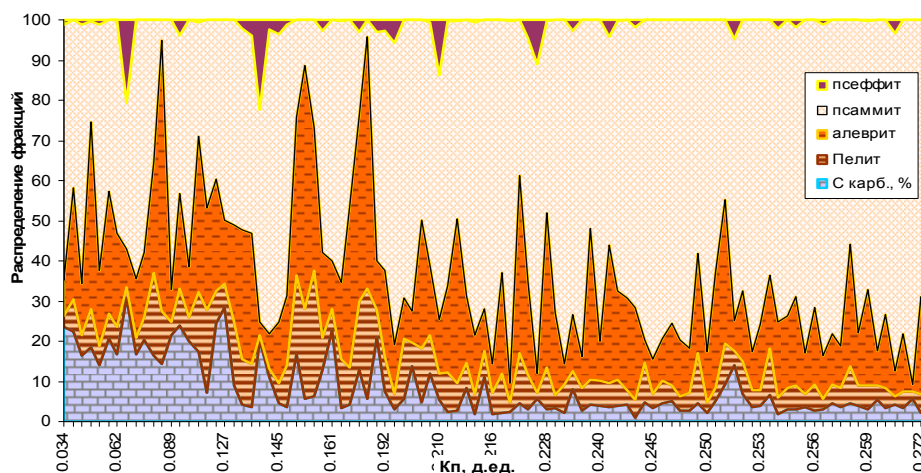
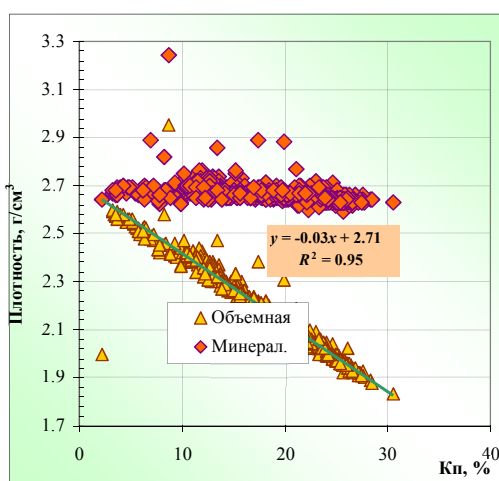


Рис. 4. Результаты гранулометрического анализа, упорядоченные по пористости, для неокомских отложений месторождения «К»

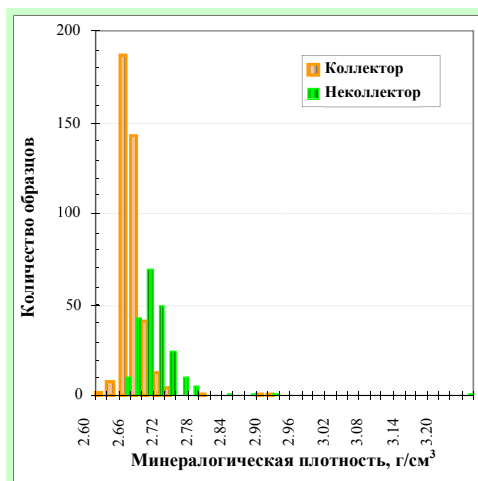
Fig. 4. The results of granulometric analysis, ordered by porosity, for the Neocomian deposits of deposit "K"

Вещественный состав пород влияет на их минералогическую плотность. О наличии связи свидетельствуют результаты гранулометрического анали-

за, упорядоченные по Кп (см. рис. 4), и тренд на графике сопоставления $\delta_{\text{мин}}$ с коэффициентом пористости (рис. 5, а).



а



б

Рис. 5. Сопоставление минералогической и объемной плотности пород с пористостью (а) и дифференциальные распределения минералогической плотности коллекторов и неколлекторов (б) для неокомских отложений месторождения «К»

Fig. 5. Comparison of mineralogical and volumetric density of rocks with porosity (а) and differential distributions of mineralogical density of reservoirs and non-collectors (б) for Neocomian deposits of deposit "K"

Минералогическая плотность матрицы увеличивается со снижением пористости, что в основном связано с увеличением содержания карбонатного материала. В неколлекторах средняя величина $\delta_{\text{мин}}$ составляет 2,69 г/см³, в коллекторах – 2,65 г/см³ (см. рис. 5, б).

Среднедевонские отложения месторождения «Н»
 По результатам ситового гранулометрического анализа пород по керну скважин месторождения «Н» были построены распределения пористости в зависимости от размеров фракции для эйфельского яруса среднедевонских отложений (рис. 6).

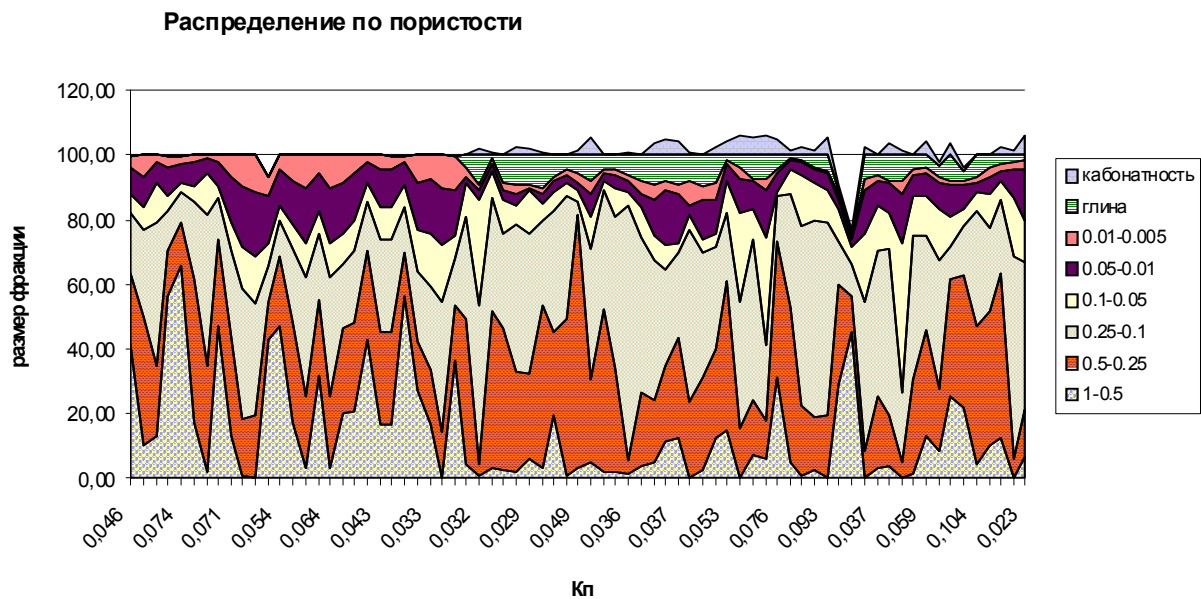


Рис. 6. Результаты гранулометрического анализа керна эйфельского яруса среднедевонских отложений в сопоставлении с пористостью (месторождение «Н»)

Fig. 6. Results of granulometric analysis of the core of the Eiffel tier of the Middle Devonian sediments in comparison with porosity (deposit "N")

Из приведенных примеров сопоставлений результатов гранулометрического анализа изученных отложений можно заключить, что для терригенных коллекторов важным показателем их класса служит гранулометрический состав, форма и характер поверхности слагающих породу зерен.

Минеральный состав и структурно-текстурные особенности являются результатом динамики и физико-географической обстановки осадконакопления. На фильтрационные параметры коллекторов существенное влияние оказывает помимо структурно-текстурных признаков минеральный состав как зерновой, так и цементирующей части породы.

Петрофизическая объемная модель

Используя полученные сведения о минеральном составе пород и литологические различия, выделенные на первом этапе, распределяются на ту часть разреза, где отсутствует или недостаточна информация по керну или шлагограмме.

Например, на кернах скважин месторождения «Н» из эйфельского яруса среднедевонских отложений определены средние значения скелетных составляющих выделенных литотипов, которые дают его уникальную характеристику по ГИС (табл.).

Принятые литотипы и их геофизические характеристики (терригенная часть)

Accepted lithotypes and their geophysical characteristics (terrigenous part)

Горные породы	ГГКп, г/см ³	НГК, у. е.	АК, мкс/м	LogBK, у. е.	DGK, у. е.
Аргиллит	2,526	2,075	231,1	1,89	0,725
Алеврит глинистый	2,602	2,481	219,6	1,85	0,544
Песчаник	2,421	2,542	223,8	1,67	0,290
Плотные алевритистые разности	2,661	2,722	195,2	2,19	0,325
Песчаник глинистый	2,481	2,211	226,3	1,73	0,480
Ангидрит и его разности	2,886	3,294	170,3	2,48	0,120

На рис. 7 представлен фрагмент геофизического планшета по скважине месторождения «Н» с

расчетом объемной литологической модели для эйфельского яруса среднего девона.

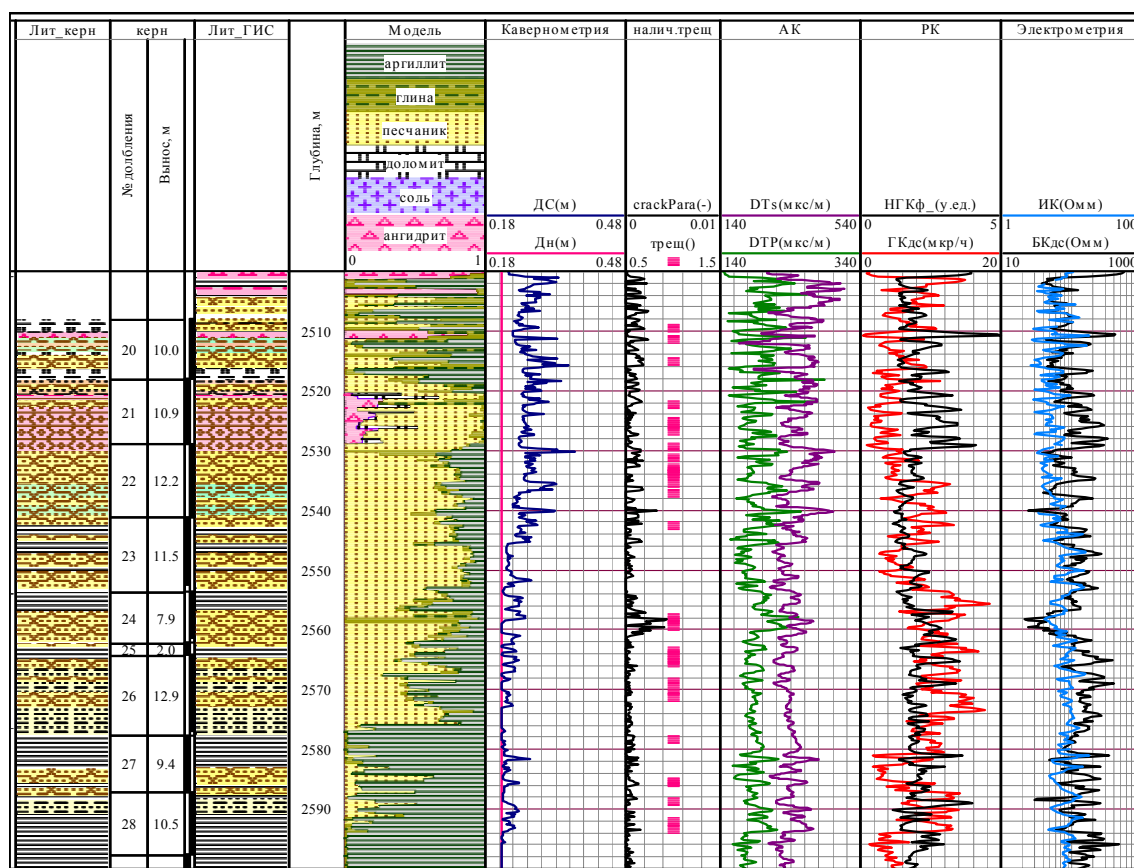


Рис. 7. Фрагмент объемной литологической модели для эйфельского яруса среднего девона по скважине месторождения «Н»

Fig. 7. Fragment of a volumetric lithological model for the Eiffel stage of the Middle Devonian from the well of deposit "N"

Выводы

Помимо особенностей геологического строения месторождения количество и качество исходной информации в значительной степени определяют способы построения модели и получаемые результаты.

Результаты рентгеноспектрального анализа дали возможность определить состав химических элементов и количество каждого из элементов в образце.

Сведения о минеральном составе пород и литоло-

гические различия, выделенные на первом этапе, распределяются на ту часть разреза, где отсутствует или недостаточна информация по ядру или шламодиаграмме.

Полученная информация о литологическом составе отложений дает наиболее полное представление о геологическом строении вскрытого скважиной разреза и в дальнейшем используется в качестве основы объемной модели по ГИС.

Список источников

1. Кобранова В. Н. Петрофизика. М.: Недра. 1986. 392 с.
2. Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Кожевников Д. А. Петрофизика (физика горных пород). М.: Недра, 1991. 368 с.
3. Ханин А. А. Петрофизика нефтяных и газовых пла-

стов. М.: Недра, 1976. 295 с.

4. Методические рекомендации по исследованию пород-коллекторов нефти и газа физическими и петрографическими методами / составители: В. И. Горян, Б. М. Березин, Ю. Я. Белов и др. М.: ВНИГНИ, 1978. 395 с.

References

1. Kobranova V. N. *Petrofizika* [Petrophysics]. Moscow, Nedra Publ. 1986. 392 p.

2. Dobrynin V. M., Vendel'shtejn B. Ju., Kozhevnikov D. A. *Petrofizika (fizika gornyh porod)* [Petrophysics (rock physics)]. Moscow, Nedra Publ., 1991. 368 p.

3. Hanin A. A. *Petrofizika nefjnyh i gazovyh plastov* [Petrophysics of oil and gas reservoirs]. Moscow, Nedra Publ., 1976. 295 p.

4. *Metodicheskie rekomendacii po issledovaniju porod-kollektorov nefii i gaza fizicheskimi i petrograficheskimi meto-*

dami [Methodological recommendations for the study of reservoir rocks of oil and gas by physical and petrographic methods]. Sostaviteli: V. I. Gorjan, B. M. Berezin, Belov Ju. Ja. i dr. Moscow, VNIGNI Publ., 1978. 395 p.

Статья поступила в редакцию 07.08.2024; одобрена после рецензирования 03.09.2024; принята к публикации 23.09.2024
The article was submitted 07.08.2024; approved after reviewing 03.09.2024; accepted for publication 23.09.2024

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Михайлович Калягин – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; заведующий кафедрой геологии нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; kalyagin-sergey@lenta.ru

Sergey M. Kalyagin – Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, Assistant Professor, Head of the Department of Geology of Oil and Gas; Astrakhan State Technical University; kalyagin-sergey@lenta.ru

Иван Константинович Калинин – магистрант кафедры геологии нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; ivan34kalinin@mail.ru

Ivan K. Kalinin – Master's Course Student of the Department of Geology of Oil and Gas; Astrakhan State Technical University; ivan34kalinin@mail.ru

Елена Алексеевна Калинина – кандидат геолого-минералогических наук; главный научный сотрудник; ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»; ivan34kalinin@mail.ru

Elena A. Kalinina – Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences; Head Researcher; LUKOIL-Engineering, LLC; ivan34kalinin@mail.ru

