

ГЕОЛОГИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 1. С. 41–48

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2024, vol. 24, iss. 1, pp. 41–48

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-1-41-48>, EDN: YRGPOB

Научная статья

УДК 550.832.9

К вопросу о методике литолого-петрофизических исследований каменного материала (в процессе бурения нефтегазовых скважин)

Б. А. Головин, М. В. Калинникова[✉], Е. Н. Волкова

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Головин Борис Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики, bagolovin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1737-7341>

Калинникова Марина Викторовна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики, kalinnikova1@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4077-0221>

Волкова Елена Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой геофизики, volkovaen@info.sgu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7620-3440>

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены некоторые аспекты методики подготовки образцов шлама и керна к литолого-петрофизическим исследованиям. Описаны приемы получения каменного материала (шлама, керна) в части определения момента вскрытия пласта-коллектора, привязки керна по глубине, отбора проб шлама. Предложен шламоотборник, позволяющий получать отмытый от бурового раствора шлам габаритных фракций. Показана эффективность метода гармонического анализа, учитывающего литологию исследуемого разреза и изменения параметров бурения для оптимизации частоты отбора проб шлама при бурении. Обоснована система размещения точек отбора проб шлама, позволяющая повысить информативность исследования разрезов скважин. Проведен анализ фактического материала по привязке шлама к пластам с использованием естественной гамма-активности в скважинах, пробуренных в условиях саратовского Поволжья. Распределение величин невязок глубин залегания по шламу и результатам интерпретации геофизических исследований скважин (ГИС) позволило сделать вывод, что в подавляющем большинстве случаев (> 75%) привязка шлама при геолого-технологических исследованиях (ГТИ) производится с удовлетворительной точностью. Реализация некоторых элементов описанных выше приемов интерпретации показана на примере одной из скважин, расположенной в северо-западной части прибортовой зоны Прикаспийской впадины.

Ключевые слова: керн, шлам, шламоотборник, скважина, коллектор

Для цитирования: Головин Б. А., Калинникова М. В., Волкова Е. Н. К вопросу о методике литолого-петрофизических исследований каменного материала (в процессе бурения нефтегазовых скважин) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 1. С. 41–48. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-1-41-48>, EDN: YRGPOB

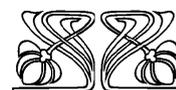
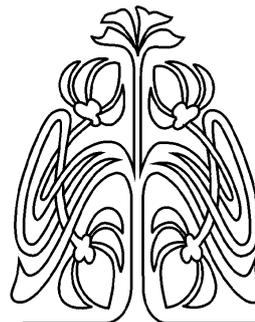
Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

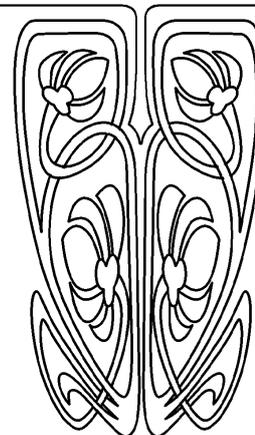
On the issue of the methodology for lithologic and petrophysical studies of stone material (in the process of oil and gas wells drilling)

Б. А. Golovin, М. В. Kalinnikova[✉], Е. Н. Volkova

© Головин Б. А., Калинникова М. В., Волкова Е. Н., 2024



**НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ**





Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Boris A. Golovin, bagolovin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1737-7341>

Marina V. Kalinnikova, kalinnikova1@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4077-0221>

Elena N. Volkova, volkovaen@info.sgu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7620-3440>

Abstract. This article discusses some aspects of the methodology for preparing sludge and core samples for lithological and petrophysical studies. Methods for obtaining rock material (sludge, core) are described in terms of determining the moment of opening the reservoir layer, tying the core in depth, and sampling the sludge. A sludge collector has been proposed that makes it possible to obtain sludge of overall fractions washed from the drilling fluid. The effectiveness of the harmonic analysis method, which takes into account the lithology of the studied section and changes in drilling parameters to optimize the frequency of sludge sampling during drilling, is shown. A system for placing sludge sampling points has been justified to increase the information content of the study of well sections. An analysis of the actual material on the connection of sludge to formations using natural gamma activity in wells drilled in the conditions of the Saratov Volga region was carried out. The distribution of the residual values of the burial depths according to the sludge and well logging allowed us to conclude that in the vast majority (> 75%) of cases, the binding of sludge during geological testing is carried out with satisfactory accuracy. The implementation of some elements of the above described interpretation techniques is shown using the example of one of the wells located in the northwestern part of the near-shore zone of the Caspian basin.

Keywords: core, sludge, sludge collector, well, reservoir

For citation: Golovin B. A., Kalinnikova M. V., Volkova E. N. On the issue of the methodology for lithologic and petrophysical studies of stone material (in the process of oil and gas wells drilling). *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 1, pp. 41–48 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-1-41-48>, EDN: YRGPOB

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC0-BY 4.0)

Введение

Исследование каменного материала (шлама, керна) – единственный источник прямых количественных данных о свойствах пластов-коллекторов и основа, на которой базируется оценка параметров продуктивных пластов [1]. Непрерывное составление документации разрезов скважин с использованием бурового шлама как материала для геохимических и петрофизических исследований – это основа совершенствования информативности глубокого бурения.

Однако по результатам изучения пород-коллекторов [2] сделан вывод, что при исследовании структуры и текстуры, а также некоторых других характеристик горных пород, которые определяют их способность вмещать и пропускать флюид, небольшой размер частиц материала для исследований значительно затрудняет применение шлама для литолого-геохимических анализов. Для повышения достоверности результатов представляется целесообразным проведение ряда исследований, среди которых обязательными являются лабораторные и полевые анализы проб шлама и образцов керна, выявление взаимосвязи результатов этих анализов между собой и данных геофизических исследований скважин.

Постановка проблемы

Целью данного исследования является обоснование некоторых аспектов методики литолого-петрофизических исследований керна и шлама в процессе бурения нефтегазовых скважин в условиях северо-западной части прибортовой зоны Прикаспийской впадины.

Успешным решение геологических задач в процессе бурения глубоких поисково-разведочных скважин может быть при условии соблюдения следующих требований:

- для получения представительных и достоверных результатов керна материал должен быть четко привязан к глубинам залегания по данным каротажного материала [3];
- шлам отбирается в режиме объемного разрушения горных пород долотом, время промывки должно обеспечить вынос забойной порции шлама на дневную поверхность;
- отбор проб шлама осуществляется способом накопления в шламоотборнике, установленном под виброситом;
- шаг дискретизации отбора проб должен учитывать как особенности геологического строения региона, так и вариации технологических параметров бурения;
- окончательная привязка каменного материала по глубине выполняется с использованием данных по естественной радиоактивности каменного материала с увязкой по радиоактивному каротажу.

Исходные материалы и источники

Определение момента вскрытия пласта-коллектора. Знание момента вскрытия потенциально перспективного пласта необходимо для своевременной корректировки интервала отбора керна. Наиболее информативным параметром при этом является механическая скорость проходки ($v_{\text{мех}}$) (механический каротаж).

Момент вскрытия определяется по формуле

$$t_{\text{вскр.}} = m_n / v, \quad (1)$$

где m_n – мощность покрывающей коллектор «пачки» горных пород, м, v – механическая скорость бурения, м/ч.

При вскрытии коллектора происходит резкое изменение механической скорости бурения ($v_{\text{мех}}$) в 1.5 и более раз в зависимости от типа разреза



(терригенный или карбонатный). Механическая скорость $v_{\text{мех}}$ зависит не только от свойств горных пород, но и от факторов, связанных с процессом бурения. Наибольшее распространение в практике геофизических работ нашел метод изучения отношений механических скоростей на границах покрышка / коллектор ($v_{\Gamma} / v_{\text{к}}$). В момент пересечения граничной зоны покрышка / коллектор кратковременное поведение $v_{\text{мех}}$ обуславливается в основном различиями физико-механических свойств глин (покрышек) и коллекторов. Установлено, что при этих условиях происходит относительное уменьшение скорости проходки, т. е. $v_{\Gamma} / v_{\text{к}} > 1$. На рис. 1 представлен характер распределения величин отношения $v_{\Gamma} / v_{\text{к}}$ на участке покрышка / коллектор по разрезу саратовского Поволжья.

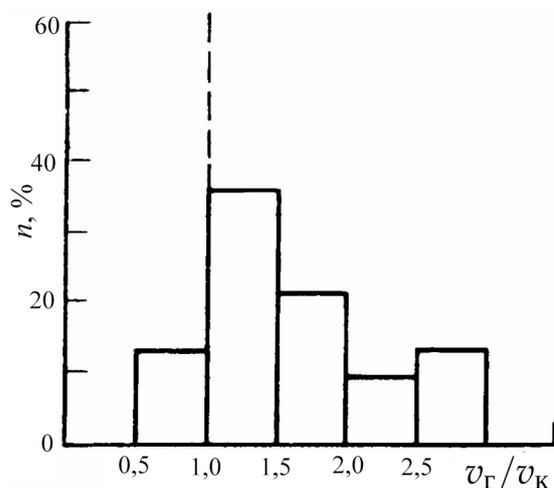


Рис. 1. Распределение величин $v_{\Gamma}/v_{\text{к}}$ в глинах и коллекторах саратовского Поволжья (n – частота встречаемости)

Привязка керна по глубине. При неполном выносе керна весьма полезным может быть способ, предложенный Ю. И. Горбачевым [4]. Сущность его сводится к выполнению двух этапов – на первом устраняют неопределенность Δ в положении интервалов, на втором проводят привязку внутри интервалов.

Отбор проб шлама. Наиболее удачным решением для фракционного отбора шлама в процессе бурения является шламоотборник, закрепленный на вибросети [5]. Энергия постоянных вибраций способствует разделению шлама по габаритным фракциям, а восходящий поток воды, переливаясь через верхний край шламоотборника, очищает шлам от частиц бурового раствора (рис. 2).

Работа устройства направлена на извлечение из корпуса отдельных фракций шлама для дальнейшего анализа, а частота извлечения определяется заданным интервалом разреза. Шлам очищается от частиц бурового раствора водой, поступающей через поддон с перфорацией

в корпус. Разделение шлама на фракции обеспечивается благодаря разному диаметру проходных отверстий соответствующих секций блока решеток, установленных в корпусе.

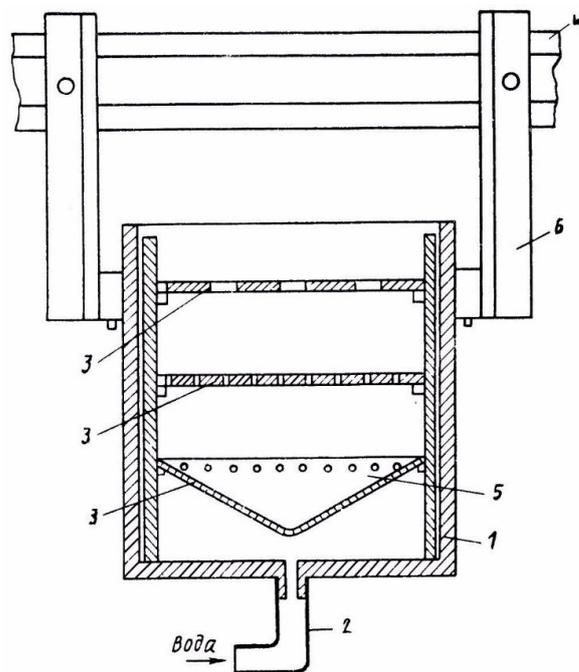


Рис. 2. Чертеж устройства для пофракционного отбора шлама в процессе бурения: 1 – корпус прибора; 2 – патрубок для подачи воды; 3 – блок решеток с последовательно установленными по высоте секциями; 4 – шламоотделитель; 5 – поддон воронкообразной формы; 6 – рама жесткой связи

Оптимизация частоты отбора проб шлама. Для повышения информативности исследования разрезов скважин по шламу должна быть обоснована система размещения точек отбора проб шлама. В настоящее время частота отбора проб шлама в общем случае не коррелируется с особенностями строения, состава и глубины залегающих нефтегазоносных толщ исследуемого региона и может быть либо избыточной, приводящей к непроизводительному использованию времени и оборудования, либо недостаточной, что приводит к пропускам литологически контрастных маломощных пластов.

Для оптимизации частоты отбора проб шлама при бурении скважин может быть применен метод гармонического анализа, учитывающий литологию исследуемого разреза. Исследования проводились на одной из скважин Прибрежной площади. В качестве информативного параметра было рассмотрено изменение литологического состава в функциональной зависимости от времени проходки. Последнее обстоятельство позволило связать частоту отбора проб со временем бурения, и дальнейшая интерпретация результатов гармонического анализа проводилась в размерности частот. Это, в свою очередь, дало



возможность выработать численные критерии при отборе проб шлама от основных параметров, характеризующих режим бурения, т. е. по разработанным алгоритмам может быть рассчитано время отбора в зависимости от указанных параметров.

На рис. 3 изображены графики зависимости шага дискретизации (Δt) от глубины скважины при разных значениях скорости проходки. Величина шага Δt рассчитана по формуле

$$\Delta t = \left(\frac{2}{\omega} \right) \cdot \sqrt{2\gamma_0} \cdot K_3, \quad (2)$$

где ω – верхняя граничная частота, γ_0 – модуль допустимой приведенной погрешности аппроксимации (принят 10%), K_3 – коэффициент запаса (полагают равным 2).

Привязка каменного материала по глубине с использованием данных геофизического исследования скважин. Комплексом ГИС, проводимым в скважине, могут быть уверенно зафиксиро-

ваны удельное электрическое сопротивление, радиоактивность, скорость распространения ультразвука и другие геофизические параметры, а также продолжительность бурения мерного интервала проходки. Литолого-петрофизические методы и критерии привязки шлама к разрезу представлены в табл. 1.

Анализ данных, представленных в табл. 1, позволяет сделать вывод, что из всех рассмотренных методов ГИС наибольшими информационными возможностями для привязки шлама обладает радиоактивный каротаж. Изменение естественной радиоактивности образцов шлама и на диаграммах гамма-каротажа (ГК) в терригенных разрезах обнаруживает тесную корреляционную связь и может быть успешно использовано для решения указанной задачи. Существенным ограничением метода в карбонатном разрезе являются низкие значения гамма-поля, зафиксированные скважинным радиометром.

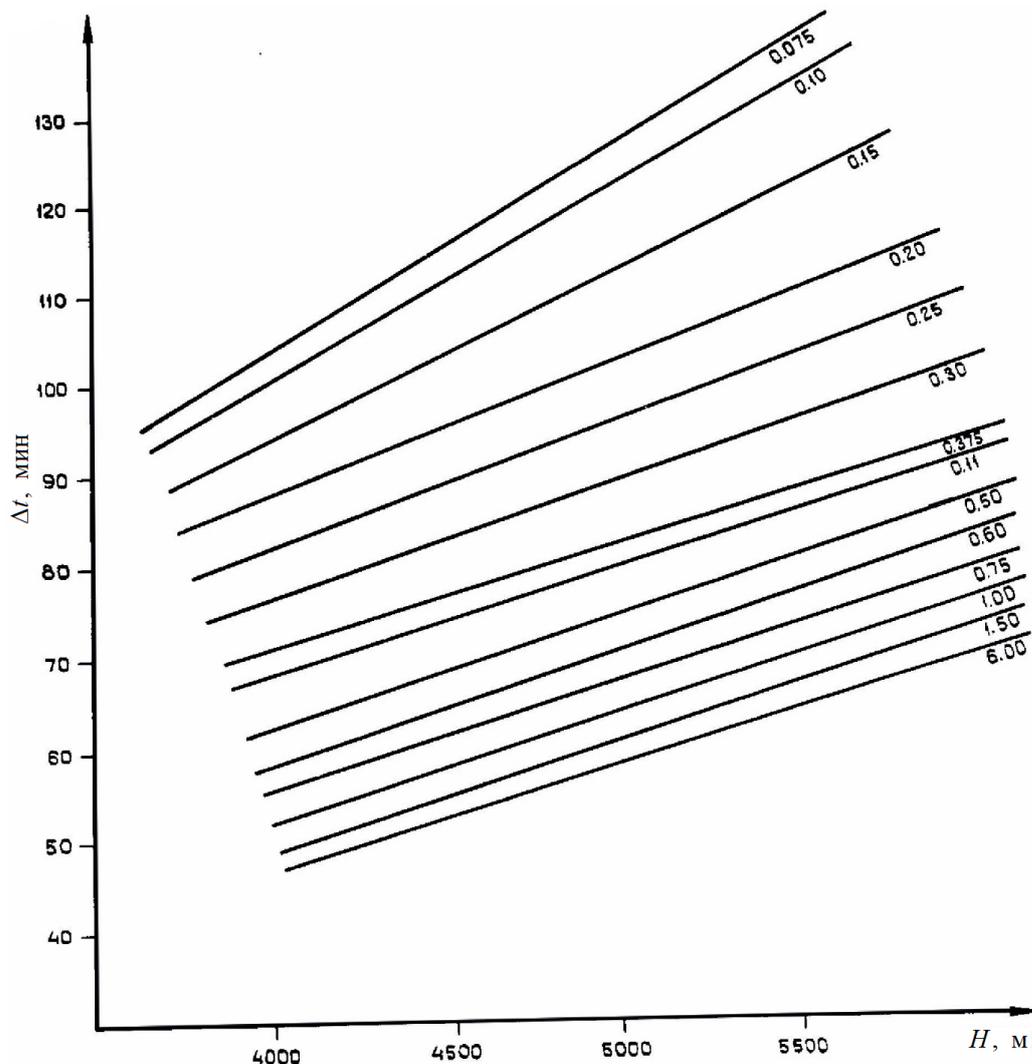


Рис. 3. Графики зависимости шага дискретизации Δt



Таблица 1

Геофизические методы исследования скважин и литолого-петрофизические свойства пород, используемые для привязки шлама

Геофизические методы исследования скважин	Физические свойства пород	Литолого-петрофизические свойства пород по шламу	Искажающие факторы
Метод продолжительности бурения	Твердость, абразивность	Физико-механические свойства	Смена режимно-технологических параметров бурения
Электрические методы	Удельное электрическое сопротивление	Удельное электрическое сопротивление	Вторичная пористость, сложность учета влияния характера насыщения
Спектрометрический гамма-каротаж	Концентрации урана, тория, калия	Концентрации урана, тория, калия	Низкое содержание радиоактивных элементов
Интегральный гамма-каротаж	Суммарный эффект ГК	Суммарная гамма-активность	Различие характеристик скважинного прибора и лабораторной установки

Результаты и их обсуждение

На базе теоретических представлений, развитых Ю. С. Шимелевичем, проведен анализ фактического материала по привязке шлама к пластам с использованием естественной гамма-активности в скважинах 1 и 6 на Грачевской площади [6]. Распределение величин невязок глубин залегания по шламу и ГИС позволяет сделать вывод, что в подавляющем большинстве случаев (> 75%) привязка шлама при ГТИ производится с удовлетворительной точностью, а величина расхождения глубин по шламу и ГИС варьирует от 0 до 6 м. Таким образом, появляется инструмент для корректной привязки шлама по глубине путем сопоставления значений естественной радиоактивности, определенной по шламу с одноименными показателями по каротажу.

В качестве примера на рис. 4 представлены результаты измерения гамма-активности пород в условиях естественного залегания и в пробах шлама. Измерение одной и той же физической величины позволяет провести однозначную привязку шлама по глубине 3020, 3034 и 3062 м по максимуму корреляции между диаграммой ГК (на рисунке слева) и кривой распределения естественной радиоактивности шлама (на рисунке справа).

Общей целью литолого-петрофизических исследований шлама и керн является выяснение литологических и петрофизических критериев нефтегазоносности, выявление и прослеживание в разрезе пластовых нефтегазоносных резервуаров. Однако их задачи на разных стадиях и этапах нефтегазопроисковых работ будут существенно варьировать. Если задачи петрофизических исследований керн при поисках, разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений в основном сформулированы в [7], то в отношении задач изучения бурового шлама и его комплексирования с керновыми материалами и данными ГИС ясность пока отсутствует.

По материалам макро- и микроскопического исследования шлама лабораторных определений уточняются литологические разности и коллекторские свойства пластов, выделяются типы коллекторов. Межскважинная корреляция однотипных пород позволяет прослеживать коллекторские и флюидоупорные пласты, устанавливать характер распространения коллекторов с разными генетическими типами емкости.

Перечисленные сведения чрезвычайно полезны при ГТИ в процессе бурения глубоких скважин на нефтегазовых месторождениях, при выборе методики разведки и технологии разработки и подсчете запасов залежей углеводородов [8].

При бурении поисковых скважин в оперативном режиме ГТИ решаются задачи литологического расчленения разрезов, прогноза момента вскрытия коллекторов, выделения коллекторов и характеристика флюидоупоров.

В задачи разведочного этапа входит изучение структурных особенностей выявленных месторождений, состава продуктивных пластов, эффективной мощности, коллекторских свойств, нефтегазонасыщения и характера изменения этих параметров по разрезу и площади, добавляется предварительная типизация вскрываемых скважинами коллекторских толщ.

При разведке месторождений отдельные скважины бурятся с применением безводных промывочных жидкостей, что характеризуется высоким выносом керн, сохранением проницаемости зоны проникновения, возможностью прямой оценки коэффициента водонасыщенности пласта. По каждой скважине должны быть проведены комплекс исследований в объеме, необходимом для количественной оценки запасов, детальное и комплексное изучение керн.

Выводы

В результате проведенных исследований и на основании опыта опробования в раз-

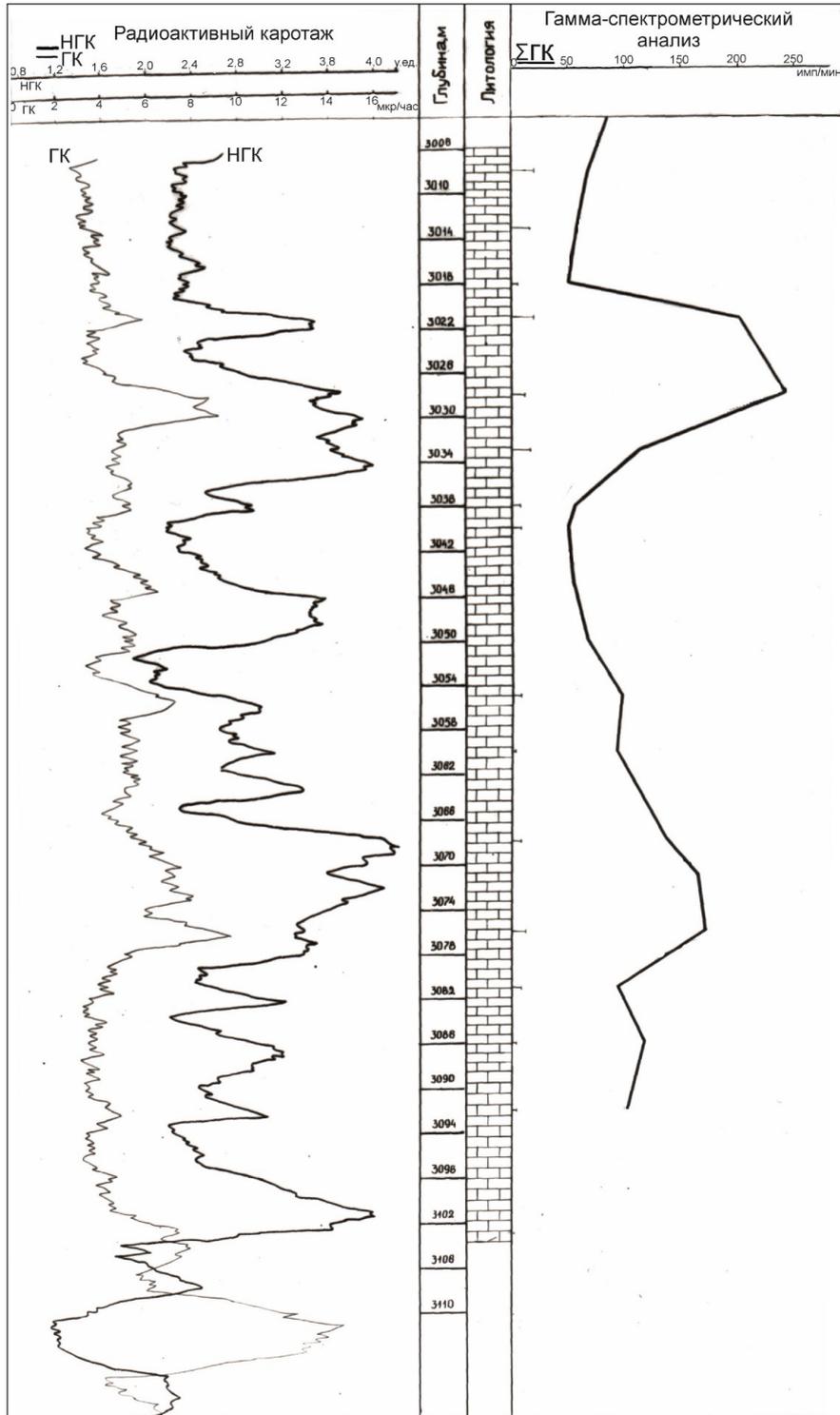


Рис. 4. Привязка шлама по глубине с использованием диаграммы ГК в разрезе Грачевской площади

ных нефтегазоносных провинциях разработан алгоритм комплексной методики оперативного анализа каменного материала при выполнении стационарных ГТИ и обоснована технологическая схема прогнозирования нефтегазоносности

геохимическими, геофизическими и петрофизическими методами.

Предложенная технологическая схема моделирования резервуара нефтегазовой залежи включает следующую последовательность:

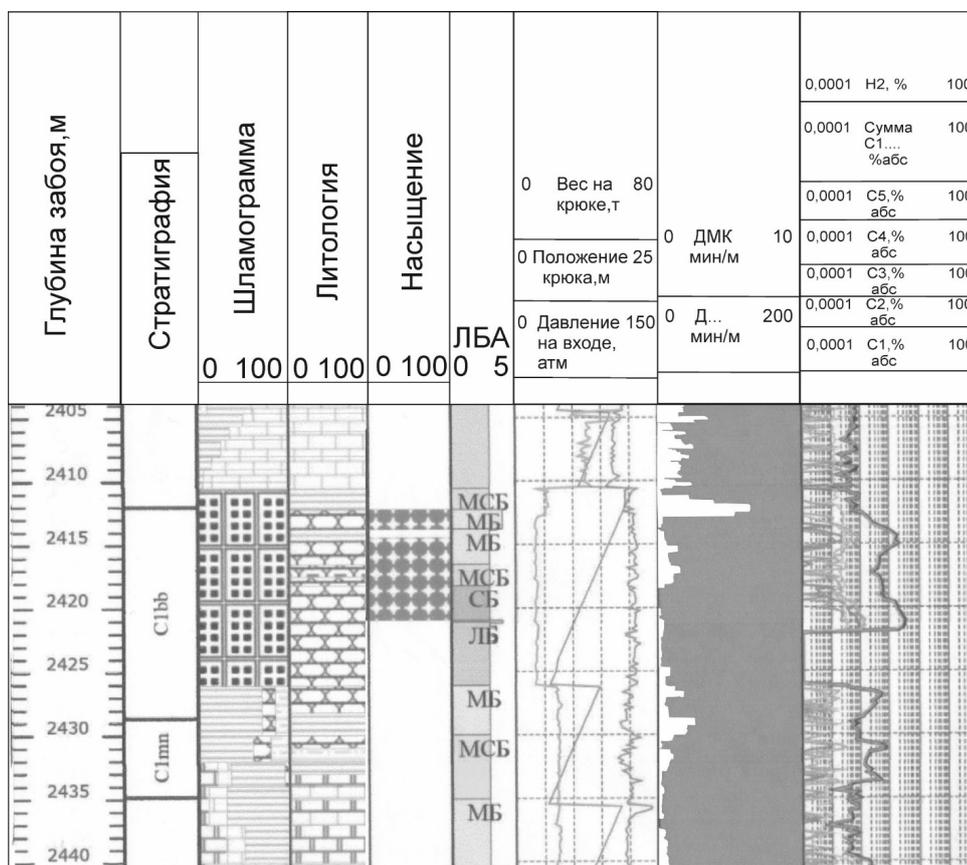


- по результатам анализа каменного материала выделяются основные литотипы пород и осуществляется их детальная привязка к фактическим глубинам залегания;
- определяются геохимические и петрофизические свойства пород;
- по сопоставлению коллекторских свойств, полученных по каменному материалу, с данными ГИС выделяются типы коллекторов;
- прослеживаются в разрезе вариации литотипов пород, мощностей коллекторских и экранирующих толщ;
- выявляются их связи со структурой и фациальной зональностью.

Предложенная технологическая схема создает предпосылки для локального прогноза как зон

коллекторов с наилучшими емкостными характеристиками, так и для зон с их отсутствием.

Реализация некоторых элементов описанных выше приемов интерпретации показана на примере одной из скважин северо-западной части прибортовой зоны Прикаспийской впадины, где проводилось исследование отложений нижнего карбона с реальной перспективой выделения продуктивных пластов. Скважина была заложена с целью выявления залежей нефти в бобриковских отложениях нижнего карбона (C₁^{bb}) (рис. 5). По данным, полученным по шламу, керну и ГИС, на сопредельных месторождениях коллекторы бобриковских отложений представлены песчаниками кварцевыми слабоглинистыми с алевритистой примесью, тип коллектора поровый.



Условные обозначения:

Литология:



Характер насыщения:

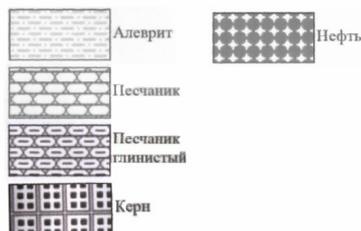


Рис. 5. Пример вскрытия продуктивного пласта бобриковского возраста (C₁^{bb}) в скважине



При проведении ГТИ и достижении глубины 2412 м зафиксировано резкое изменение механической скорости бурения, при этом средний уровень газопоказаний составил 0,059%. Бурение было остановлено и выполнена технологическая промывка до выноса забойной пробы бурового раствора и шлама на дневную поверхность. В шламе были зафиксированы обломки песчаников мелко-среднезернистых, слабоглинистых с каолинитово-гидролюдистым цементом порового типа. Неглинистые разновидности песчаников сцементированы вторичным кварцем. Ориентировочная пористость этих песчаных коллекторов составляет 8–10%. Люминисцентно-битуминологическая характеристика (ЛБА) ЗБЖ МБ. Суммарное содержание УВ газов забойной порции раствора возрастает до 0,3%. Эти факты свидетельствуют о вскрытии целевого горизонта C_1^{bb} , что явилось обоснованием для отбора в интервале глубин 2410,6–2426,1 м нефтенасыщенного керна с линейным выносом 15,5 м (100%).

Для подтверждения характера насыщения исследуемого пласта в интервале 2406–2420,8 м было выполнено испытание пласта испытателем на трубах (ИПТ). В результате ИПТ получена невязкая газированная нефть.

Данные промыслово-геофизических исследований полностью подтвердили продуктивность исследуемого пласта.

Таким образом, современные технико-методические возможности получения геологической информации в реальном масштабе времени позволяют повысить достоверность отбора каменного материала в процессе бурения с целью решения прогнозных нефтегеологических задач.

Библиографический список

1. Макфи К., Рид Дж., Зубизаретта И. Лабораторные исследования керна: гид по лучшим практикам. М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2018. 924 с.
2. Недоливко Н. М., Ежова А. В. Петрографические исследования терригенных и карбонатных пород-коллекторов : учеб. пособие. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 172 с.
3. Руководство по геомеханическому документированию керна. Черногоorsk : ООО «Черногоorskская ГРК», 2014. 54 с.
4. Горбачёв Ю. И. Геофизические исследования скважин : учебник для вузов. Москва : Недра, 1990. 398 с.
5. Авторское свидетельство № 1436018 СССР. Устройство для фракционного отбора шлама в процессе бурения : № 3929904 заявлен 12.07.85 : опубликован 08.07.88 / Головин Б. А., Матвеев А. Н., Мельников И. Г. 2 с. : ил.
6. Головин Б. А. Литолого-петрофизические основы прогнозирования нефтегазоносности при бурении глубоких скважин в подсоловых палеозойских отложениях Прикаспийской впадины. Saarbrücken : LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 192 с.
7. Битнер А. К., Прокать Е. В. Методы исследования пород-коллекторов и флюидов : учеб. пособие. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. 224 с.
8. Головин Б. А., Руднев С. А. Литолого-петрофизическое моделирование пластовых резервуаров в процессе бурения. Саратов : Изд-во Саратовского университета, 2022. 104 с. <https://doi.org/10.18500/978-5-292-04772-8>

Поступила в редакцию 01.02.2024; одобрена после рецензирования 08.02.2024; принята к публикации 09.02.2024
The article was submitted 01.02.2024; approved after reviewing 08.02.2024; accepted for publication 09.02.2024