

УДК 551.351, 553.982

МРНТИ 38.15.03

DOI: [10.54859/kjogi108803](https://doi.org/10.54859/kjogi108803)

Получена: 29.11.2024.

Одобрена: 24.07.2025.

Опубликована: 30.09.2025.

Оригинальное исследование

Расширение горизонтов исследования кернового материала. Панорамные изображения шлифов

З.М. Доева, Т.С. Джарасова, Р.К. Саудабаев, Р.Б. Мербаев, Н.А. Пронин

Атырауский филиал КМГ Инжиниринг, г. Атырау, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Керна и его анализ представляют собой ключевой метод прямого изучения свойств потенциальных или существующих коллекторов. Данные кернового материала позволяют определить седиментологические и диагенетические характеристики пород, что критически важно для оценки их фильтрационно-ёмкостных свойств. В данной статье представлены результаты проекта по цифровизации керна, включая применение передовых технологий для анализа высокоразрешающих панорамных изображений шлифов.

Цель. Разработка и внедрение цифровых технологий для автоматизированного анализа керна, включая определение пористости и гранулометрического состава на основе панорамных изображений шлифов, с целью повышения точности и эффективности исследований по сравнению с традиционными методами.

Материалы и методы. Описаны методики автоматизированного определения пористости и гранулометрического состава, а также их интеграция с традиционными методами исследований.

Результаты. Результаты демонстрируют значительное повышение точности и эффективности анализа по сравнению с ручными методами, что подтверждается статистическими данными по 147 шлифам.

Заключение. Проведённое исследование 147 шлифов из восьми скважин подтвердило эффективность цифровых методов анализа, позволивших значительно повысить точность определения пористости и гранулометрического состава пород. Полученные данные стали основой для создания детальных петрофизических моделей, критически важных для геологического и гидродинамического моделирования. Перспективы работы включают дальнейшее развитие цифровых баз данных керна и внедрение алгоритмов машинного обучения для прогнозирования свойств коллекторов.

Ключевые слова: цифровизация керна, панорамные изображения, гранулометрический анализ, пористость, петрофизические модели.

Как цитировать:

Доева З.М., Джарасова Т.С., Саудабаев Р.К., и др. Расширение горизонтов исследования кернового материала. Панорамные изображения шлифов // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2025. Том 7, №3. С. 116–126. DOI: [10.54859/kjogi108803](https://doi.org/10.54859/kjogi108803).

UDC 551.351, 553.982

CSCSTI 38.15.03

DOI: [10.54859/kjogi108803](https://doi.org/10.54859/kjogi108803)

Received: 29.11.2024.

Accepted: 24.07.2025.

Published: 30.09.2025.

Original article

Expanding the Horizons of Core Analysis. Panoramic Images of Thin Rock Sections

Zarema M. Doyeva, Tolganay S. Jarassova, Renat K. Saudabayev, Rinat B. Merbayev, Nikita A. Pronin

Atyrau branch of KMG Engineering, Atyrau, Kazakhstan

ABSTRACT

Background: Core analysis is a key method for directly evaluating the properties of promising or existing reservoirs. Core data can be used to determine the sedimentological and diagenetic characteristics of rocks, which are critical for assessing their filtration and storage properties. This article presents the findings of a core digitization project, including the application of advanced technologies for analysing high-resolution panoramic images of thin rock sections.

Aim: Development and implementation of digital technologies for automated core analysis, including determining porosity and grain size composition from panoramic images of thin rock sections, aim to enhance research accuracy and efficiency over traditional methods, aligning with academic standards.

Materials and methods: The study describes methods for automated determination of porosity and grain size distribution, as well as their integration with conventional research techniques.

Results: The results demonstrate a significant improvement in analysis accuracy and efficiency compared to manual methods, as supported by statistical data from 147 thin rock sections.

Conclusion: The analysis of 147 thin rock sections from eight wells confirmed the effectiveness of digital analysis techniques, which significantly enhanced the accuracy of determining porosity and grain size composition of rocks. The data obtained served as the basis for developing detailed petrophysical models. This is critical for geological and hydrodynamic modelling. Future work includes the further expansion of digital core databases and the implementation of machine learning algorithms to predict reservoir properties.

Keywords: *core digitalization; panoramic images; grain size analysis; porosity; petrophysical models.*

To cite this article:

Doyeva ZM, Jarassova TS, Saudabayev RK, et al. Expanding the Horizons of Core Analysis. Panoramic Images of Thin Rock Sections. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2025;7(3):116–126.

DOI: [10.54859/kjogi108803](https://doi.org/10.54859/kjogi108803).

ӨОЖ 551.351, 553.982

ГТАХР 38.15.03

DOI: [10.54859/kjogi108803](https://doi.org/10.54859/kjogi108803)

Қабылданды: 29.11.2024.

Мақұлданды: 24.07.2025.

Жарияланды: 30.09.2025.

Түпнұсқа зерттеу

Керн материалын зерттеу горизонттарын кеңейту. Тілімтастың панорамалық кескіндері

З.М. Доева, Т.С. Джарасова, Р.К. Саудабаев, Р.Б. Мербаев, Н.А. Пронин

ҚМГ Инжиниринг Атыраулық филиалы, Атырау қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Негіздеу. Керн және оның талдауы потенциалды немесе бар коллекторлардың қасиеттерін тікелей зерттеудің негізгі әдісі болып табылады. Керн материалының деректері тау жыныстарының седиментологиялық және диагенетикалық сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді, бұл олардың сүзу-сыйымдылық қасиеттерін бағалау үшін өте маңызды. Бұл мақалада тілімтастардың жоғары ажыратымдылықтағы панорамалық кескіндерін талдау үшін озық технологияларды қолдануды қоса алғанда, өзекті цифрландыру жобасының нәтижелері келтірілген.

Мақсаты. Дәстүрлі әдістермен салыстырғанда зерттеулердің дәлдігі мен тиімділігін арттыру мақсатында тілімтастардың панорамалық кескіндеріне негізделген кеуектілік пен гранулометриялық құрамды анықтауды қоса алғанда, өзекті автоматтандырылған талдау үшін цифрлық технологияларды әзірлеу және енгізу.

Материалдар мен әдістер. Кеуектілік пен гранулометриялық құрамды автоматтандырылған анықтау әдістері, сондай-ақ оларды дәстүрлі зерттеу әдістерімен біріктіру сипатталған.

Нәтижелері. Нәтижелер қолмен орындалатын әдістермен салыстырғанда талдаудың дәлдігі мен тиімділігінің айтарлықтай жоғарылағанын көрсетеді, бұл 147 тілімтастар бойынша статистикалық деректермен расталады.

Қорытынды. Сегіз ұңғыманың 147 шлифін зерттеу тау жыныстарының кеуектілігі мен гранулометриялық құрамын анықтау дәлдігін едәуір арттыруға мүмкіндік беретін сандық талдау әдістерінің тиімділігін растады. Алынған деректер геологиялық және гидродинамикалық модельдеу үшін өте маңызды болып табылатын нақты петрофизикалық модельдерді құрудың негізі болды. Жұмыс перспективалары сандық негізгі мәліметтер базасын одан әрі дамытуды және коллекторлардың қасиеттерін болжау үшін машиналық оқыту алгоритмдерін енгізуді қамтиды.

Негізгі сөздер: кернді цифрландыру, панорамалық кескіндер, гранулометриялық талдау, кеуектілік, петрофизикалық модельдер.

Дәйексөз келтіру үшін:

Доева З.М., Джарасова Т.С., Саудабаев Р.К., және б. Керн материалын зерттеу горизонттарын кеңейту.

Тілімтастың панорамалық кескіндері // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2025. 7 том, №3. 116–126 б. DOI: [10.54859/kjogi108803](https://doi.org/10.54859/kjogi108803).

Введение

Исследования кернового материала являются основным источником информации о свойствах горных пород. Наряду со стандартными исследованиями кернового материала проводятся и специальные исследования с целью получения достоверных данных о физических, электрических и фильтрационно-ёмкостных свойствах (далее – ФЕС) горных пород для создания петрофизической основы интерпретации материалов геофизических исследований (далее – ГИС), определения граничных значений ФЕС коллекторов, уточнения остаточной водо- и нефтенасыщенности, коэффициента вытеснения нефти различными реагентами [1, 2]. Атырауский филиал ТОО «КМГ Инжиниринг» проводит полный комплекс исследований керна – от детальных описаний до построения петрофизических моделей. Керновый материал, поступающий в лабораторию, проходит комплексную обработку перед началом основных исследований. Детальное литологическое описание породы начинается после получения фотографий керна в ультрафиолетовом цвете для оценки нефтенасыщенности породы по интенсивности свечения углеводородов. Однако традиционные методы анализа сопряжены с ограничениями, такими как субъективность интерпретации и трудоёмкость процессов [3, 4]. Цифровизация керна, включая создание высокоразрешающих панорамных изображений шлифов, предлагает новые возможности для повышения точности и скорости анализа [5].

Цель данной работы – внедрение цифровых технологий в лабораторные исследования керна, включая автоматизированный анализ пористости и гранулометрического состава и интеграцию полученных данных в петрофизические модели, для автоматизации процессов при описании шлифов и исключения человеческого фактора по сравнению с традиционными методами.

Материалы и методы

Метод панорамной цифровизации шлифов сочетает высокую точность анализа (погрешность <5%) с возможностью удалённого доступа к данным, что особенно ценно для коллективной работы исследователей. Основные преимущества включают получение качественных изображений для автоматизированного расчёта гранулометрического состава и пористости, комплексную статистическую обработку данных (анализ распределения частиц, морфометрию), а также создание цифрового архива для последующего анализа [6, 7]. Однако метод имеет существенные ограничения: процесс сканирования одного шлифа стандартного размера (5×5 см) в высоком разрешении может занимать от одного дня до недели, а объём исходных данных достигает 5–10 ГБ на один образец, что требует значительных вычислительных ресурсов. На практике отмечаются сложности с артефактами изображения (микроцарапины, загрязнения) и ошибками автомати-

ческой сегментации в гетерогенных образцах, что требует дополнительной ручной коррекции. Особое значение имеет регулярная калибровка оптической системы: даже минимальные отклонения в настройках освещения могут существенно влиять на результаты [8]. Тем не менее метод доказал свою эффективность при масштабных исследованиях, как, например, в нашем проекте по анализу 147 образцов. Все исследования выполнялись с использованием микроскопа Olympus BX53 с программным обеспечением «Керн С7 панорама» (компания SIAMS).

Визуальная оценка пористости

Геометрические характеристики представляют собой общие данные о пористости шлифа, включая ключевые параметры (диаметр, площадь и объём). На первом этапе были получены геометрические характеристики пор (табл. 1). Данные демонстрируют неоднородность материала с преобладанием мелких частиц и вариациями форм от сферических до вытянутых.

Таблица 1. Поры. Геометрические характеристики
Table 1. Pores. Geometric characteristics

Параметры Parameters	МИН MIN	СРЕДН AVE	МАКС MAX	СКО RMSD
Диаметр, мм Diameter, mm	0,00832	0,0330	0,514	0,04356
Средняя проекция, мм Average projection, mm	0,00905	0,0501	1,24	0,08762
Максимальная проекция, мм Maximum projection, mm	0,0106	0,0631	1,70	0,1111
Площадь, мм ² Area, mm	$5,43 \times 10^{-5}$	0,00234	0,208	0,009335
Объём, мм ³ Volume, mm	$4,00 \times 10^{-7}$	$3,88 \times 10^{-4}$	0,0947	0,002964
Фактор компактности Compactability factor	0,103	0,667	0,949	0,1810
Фактор удлинения Lineation factor	0,095	0,670	1,000	0,1908
Фактор изрезанности Fracture factor	0,255	0,910	1,000	0,1232

МИН / MIN – минимальный / minimum; МАКС / MAX

– максимальный / maximum; СРЕД / AVE – средний / average

СКО / RMSD – среднеквадратическое отклонение / root-mean-square deviation

Далее были получены результаты распределения пор по размерным классам от минимума до максимума, включая отношение количества частиц к площади изучаемого шлифа (в процентах). Данные представлены в табл. 2. Основная масса частиц (68,61%) относится к мелкому классу диаметром 0,01–0,05 мм, тогда как более крупные частицы диаметром 0,1–0,5 мм, составляя лишь 6,24% от общего количества, формируют 69,8% общей площади. По полученным ключевым

данным по количеству, площади и объёму была построена гистограмма распределения пористости (рис. 1). Согласно данной гистограмме, по количеству преобладают частицы размером 0,01–0,05 мм, тогда как по площади и объёму доминируют частицы размером 0,1–0,5 мм.

После получения окончательных результатов проявляется проанализированное панорамное изображение шлифа в исходном виде и с маркерами определённого цвета (с зелёной окантовкой), где показана определённая пористость по данным анализатора (рис. 2).

Таблица 2. Распределение по размерным классам
Table 2. Distribution by size classes

Границы классов, мм Class limits, mm	Кол-во частиц, ед. Number of particles, pcs	СРЕДН, мм AVE, mm	МИН, мм MIN, mm	МАКС, мм MAX, mm	Доля в общем кол-ве, % Share in total, %	% от площади % of area
<0,01	1182	0,009	0,008	0,01	15,47	0,41
0,01–0,05	5242	0,021	0,01	0,05	68,61	12,18
0,05–0,1	738	0,07	0,05	0,1	9,66	16,46
0,1–0,5	477	0,169	0,1	0,488	6,24	69,8
0,5–1	1	0,514	0,514	0,514	0,01	1,16
≥1	0	-	-	-	0	0
ВСЕГО / TOTAL	7640	0,033	0,008	0,514	100	100

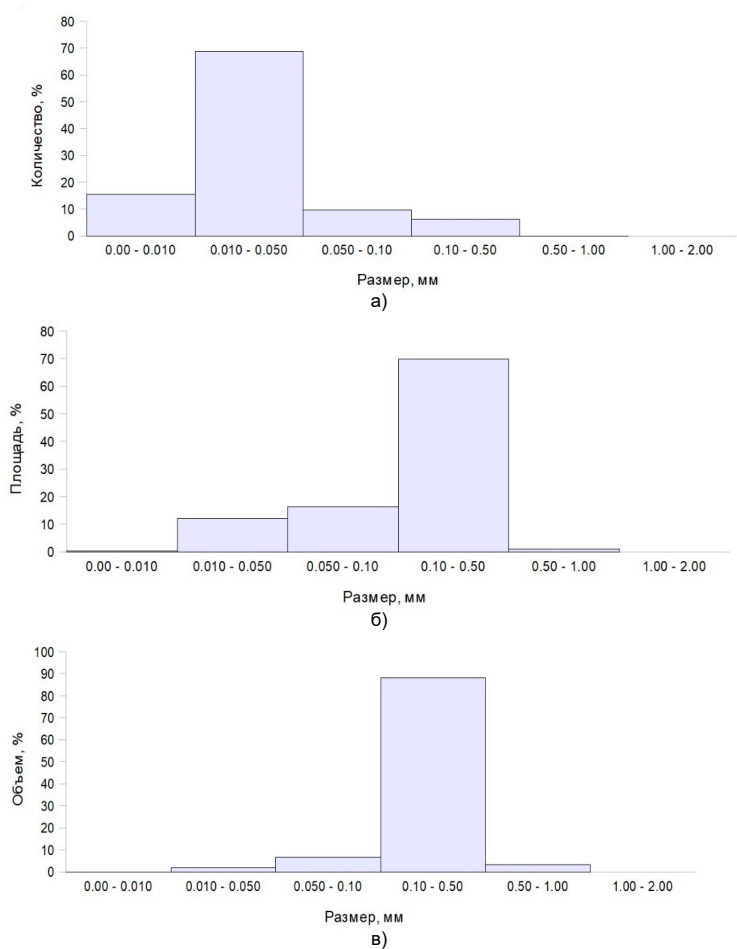


Рисунок 1. Распределение частиц по количеству, площади и объёму
Figure 1. Distribution of particles by quantity, area and volume
а) количество / quantity; б) площадь / area; в) объём / volume

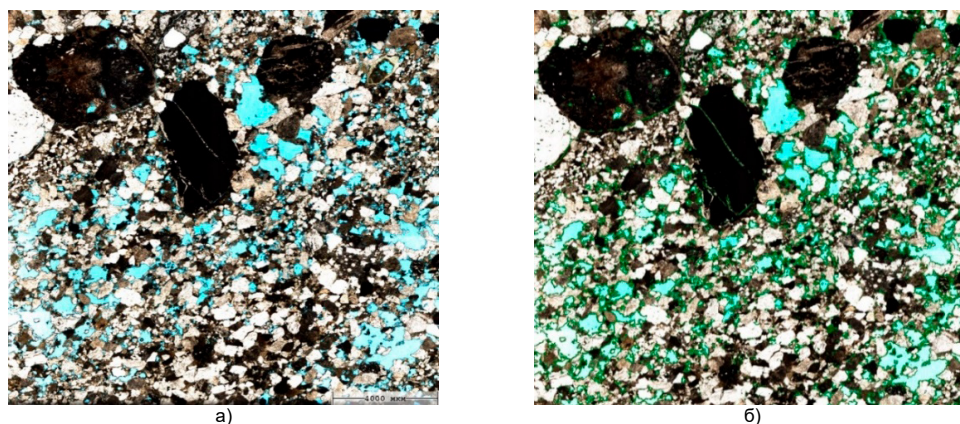


Рисунок 2. Определение пористого пространства с маркерами и без них
Figure 2. Determination of a porous space without and with markers
 а) без маркеров / without markers; б) с маркерами / with markers

Таблица 3. Основные параметры гранул
Table 3. Main parameters of granules

Параметры зёрен* Grain parameter	Среднее Average	СКО RMSR	Доверительный интервал $p = 0,95$ Confidence interval $p = 0.95$	Относительная точность, % Relative accuracy, %
Площадь зёрен, мкм ² Grain area, μm^2	125021	851920,05	201646,18	681,42
Средний диаметр, мкм Average diameter, μm	228	467,35	110,62	48,61
Максимальный диаметр, мкм Maximum diameter, μm	270	522,77	123,74	45,91
Ортогональный диаметр, мкм Orthogonal diameter, μm	190	433,84	102,69	54,01
Эквивалентный диаметр, мкм Equivalent diameter, μm	176	360,52	85,33	48,44
Фактор удлинения Lineation factor	0,69	0,16	0,037	5,35
Круглый фактор Roundness factor	0,71	0,15	0,036	5,09
Фактор компактности Compactability factor	0,66	0,13	0,030	4,51
Фактор изрезанности Fracture factor	0,86	0,13	0,031	3,62

*количество зёрен 451 шт. / The number of grains is 451 pcs.

Гранулометрический состав

После анализа пористости было проведено определение гранулометрического состава породы по всей площади шлифа. В табл. 3 представлены основные параметры изученных зёрен, включая площадь, диаметр, факторы компактности и изрезанности. Исследование охватывало все структурные элементы шлифа, что позволило получить репрезентативные данные о распределении частиц в объёме образца.

Далее был проведён анализ по детальному гранулометрическому составу, где каждое зерно было идентифицировано и классифицировано по диапазону размеров от 0,032 до 1 мм и более 1 мм (табл. 4). Распределение частиц по диапазонам размеров таково: максимальные диаметры – наибольшие измеренные размеры частиц; средние диаметры – усреднённые значения размеров; ортогональные диаметры –

размеры, измеренные в перпендикулярном направлении (например, при анализе формы частиц); эквивалентные диаметры – диаметры частиц, рассчитанные по их площади или объёму (если частицы несферические). Основная масса частиц сосредоточена в диапазоне 0,050–0,316 мм. Преобладают частицы с максимальными (0,100–0,126 мм) и средними (0,079–0,100 мм) диаметрами. Эквивалентные диаметры подтверждают общую тенденцию, но с небольшим смещением в сторону более крупных частиц в диапазоне 0,158–0,200 мм (12,7%) (табл. 4).

Интерпретация полученных данных по гранулометрическому анализу позволила построить гистограмму (рис. 3), где отчётливо проявляется распределение средних, максимальных и ортогональных диаметров. Наибольшее количество частиц в категории максимальных диаметров попадает в диапазон

Таблица 4. Детальный гранулометрический состав
Table 4. Breakdown of granulometric composition

Диапазоны размеров, мм Size ranges, mm	Максимальные диаметры Maximum diameters	Средние диаметры Average diameters	Ортогональные диаметры Orthogonal diameters	Эквивалентные диаметры Equivalent diameters
0,032–0,040	-	-	1 (1,4%)	-
0,040–0,050	-	1 (1,4%)	6 (8,5%)	5 (7,0%)
0,050–0,063	3 (4,2%)	7 (9,9%)	7 (9,9%)	8 (11,3%)
0,063–0,079	7 (9,9%)	7 (9,9%)	12 (16,9%)	12 (16,9%)
0,079–0,100	5 (7,0%)	11 (15,5%)	9 (12,7%)	10 (14,1%)
0,100–0,126	12 (16,9%)	10 (14,1%)	10 (14,1%)	9 (12,7%)
0,126–0,158	10 (14,1%)	9 (12,7%)	8 (11,3%)	7 (9,9%)
0,158–0,200	8 (11,3%)	7 (9,9%)	6 (8,5%)	9 (12,7%)
0,200–0,251	8 (11,3%)	8 (11,3%)	4 (5,6%)	4 (5,6%)
0,251–0,316	7 (9,9%)	3 (4,2%)	3 (4,2%)	3 (4,2%)
0,316–0,398	2 (2,8%)	2 (2,8%)	-	-
0,398–0,501	4 (5,6%)	1 (1,4%)	2 (2,8%)	-
0,501–0,631	-	1 (1,4%)	-	2 (2,8%)
0,631–0,794	1 (1,4%)	2 (2,8%)	1 (1,4%)	1 (1,4%)
0,794–1,000	1 (1,4%)	1 (1,4%)	1 (1,4%)	-
>1,000	3 (4,2%)	1 (1,4%)	1 (1,4%)	1 (1,4%)

Таблица 5. Коэффициенты сортировки
Table 5. Sorting coefficients

Параметры Parameters	Диаметр / Diameter		
	ортогональный Orthogonal	максимальный Maximum	средний Average
Коэффициент сортировки Sorting coefficients	2,46	2,35	2,33
Коэффициент сортировки по Траску Trask's sorting coefficient	1,57	1,53	1,53
Коэффициент асимметрии по Траску Trask's asymmetry coefficient	1,10	1,24	1,20
Коэффициент асимметрии по Крумбейну Krumbein asymmetry coefficient	1,05	1,11	1,09
Процентили Percentiles	0,25	0,5	0,75
Средний диаметр, мкм Average diameter, µm	90	125	209
Максимальный диаметр, мкм Maximum diameter, µm	107	147	252
Ортогональный диаметр, мкм Orthogonal diameter, µm	69	103	170

0,100–0,126 мм (16,9%). Для средних диаметров наиболее представлен диапазон 0,079–0,100 мм (15,5%). Для ортогональных диаметров преобладают частицы размером 0,063–0,079 мм (16,9%). Крупные частицы (>1 мм) встречаются редко (4,2% для максимальных диаметров, 1,4% для средних и ортогональных). Мелкие частицы (<0,050 мм) составляют небольшую долю (≤8,5%).

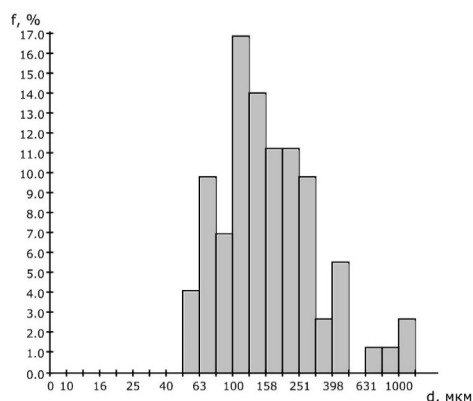
Полученные данные по детальному гранулометрическому составу позволили рассчитать коэффициент сортировки зёрен, представленный в табл. 5. Коэффициенты сортировки дополнительно были проанализированы по общеизвест-

ным классификациям Траска и Крумбейна⁴. Преобладают тонко- и мелкозернистые фракции (80% частиц диаметром 0,05–0,25 мм). Коэффициент сортировки по Траску – 1,53–1,57, что указывает на умеренную отсортированность (табл. 5).

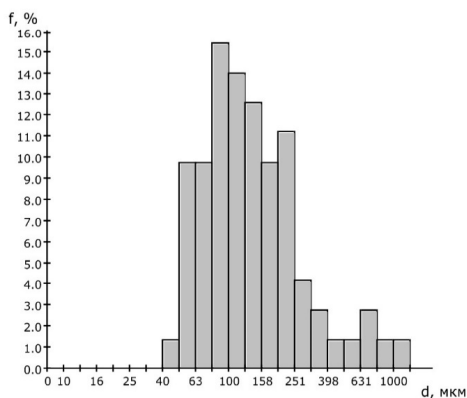
Статистические зависимости

Для обобщения результатов проведённого исследования и формирования общих статистических данных было принято решение объединить данные по каждому стратиграфическому горизонту с целью анализа взаимосвязей

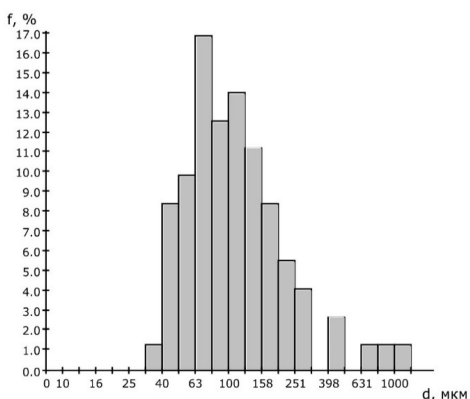
¹ Классификация Траска и Крумбейна – это система гранулометрического анализа осадочных пород, основанная на логарифмической шкале (шкала Крумбейна) и статистических параметрах (коэффициент сортировки Траска), позволяющая количественно описывать распределение частиц по размерам.



а)



б)



в)

Рисунок 3. Распределение средних, максимальных и ортогональных диаметров
Figure 3. Distribution of average, maximum and orthogonal diameters

а) средние / average; б) максимальные / maximum;
 в) ортогональные / orthogonal

между пористостью и гранулометрическим составом пород.

Согласно предварительной информации детальной пластовой корреляции с привлечением данных опробования и интерпретации промыслово-геофизических исследований, на исследу-

емом месторождении установлено 11 нефтегазовых продуктивных горизонтов, относящихся к трём стратиграфическим системам – триасовой (Т – Triassic), юрской (J – Jurassic) и меловой (K – Cretaceous):

- K1v – валанжинский нефтяной горизонт;
- Ю-I-V – юрский нефтегазовый горизонт;
- Т-I-IV – триасовый нефтяной горизонт;
- Т-V – нефтегазовый горизонт.

К выявленным продуктивным горизонтам приурочены пластовые, сводовые, тектонически и литологически экранированные типы залежи. Границами нефтеносности для всех горизонтов являются контурные воды и тектонические нарушения. Литологически продуктивные пласты представлены чередованием песчаников, глинистых алевролитов и аргиллитов. Коллекторами являются тонко- и мелкозернистые глинистые песчаники.

На рис. 4 представлены данные по возрасту и глубине породы, количественному содержанию фракций зёрен и их процентному соотношению по площади шлифа. По полученным гистограммам можно определить связь между стратиграфией, глубиной залегания и свойствами пород. Во всех образцах преобладают мелкозернистые фракции (0,01–0,05 мм), которые указывают на условия измельчения или природные особенности формирования отложений. Наличие частиц <0,01 мм свидетельствует о тонкодисперсной составляющей, что важно для оценки адсорбционных или вязкостных свойств материала. Наличие грубозернистых фракций (>1 мм) может свидетельствовать о низкой скорости кристаллизации или тектонических процессах.

По полученным данным была построена зависимость максимального и минимального диаметров зёрен и пористости породы от глубины отбора (рис. 5). График позволяет проследить, как изменяется размер частиц горных пород с увеличением глубины, что важно для понимания условий осадконакопления и диагенеза. На глубине 2500–3000 м встречаются как песчаники (крупные зёрна), так и глины (мелкие). На глубине 3500–4000 м вероятно уплотнение и уменьшение размера зёрен.

Гистограмма (рис. 5, в) позволяет проследить, как уменьшается или увеличивается пористость с глубиной, что критически важно для оценки коллекторских свойств пород. Пористость варьируется в триасовых отложениях в пределах 15%, в юрских отложениях – в интервале 15–30% на глубинах 1000–2500 м, в меловых отложениях преобладают мелкозернистые породы с низкой пористостью (5–15%).

Заключение

Материалом для исследования послужили 147 шлифов, отобранных из восьми скважин одного месторождения, что позволило получить расширенную статистическую информацию о продуктивных горизонтах изучаемого объекта.

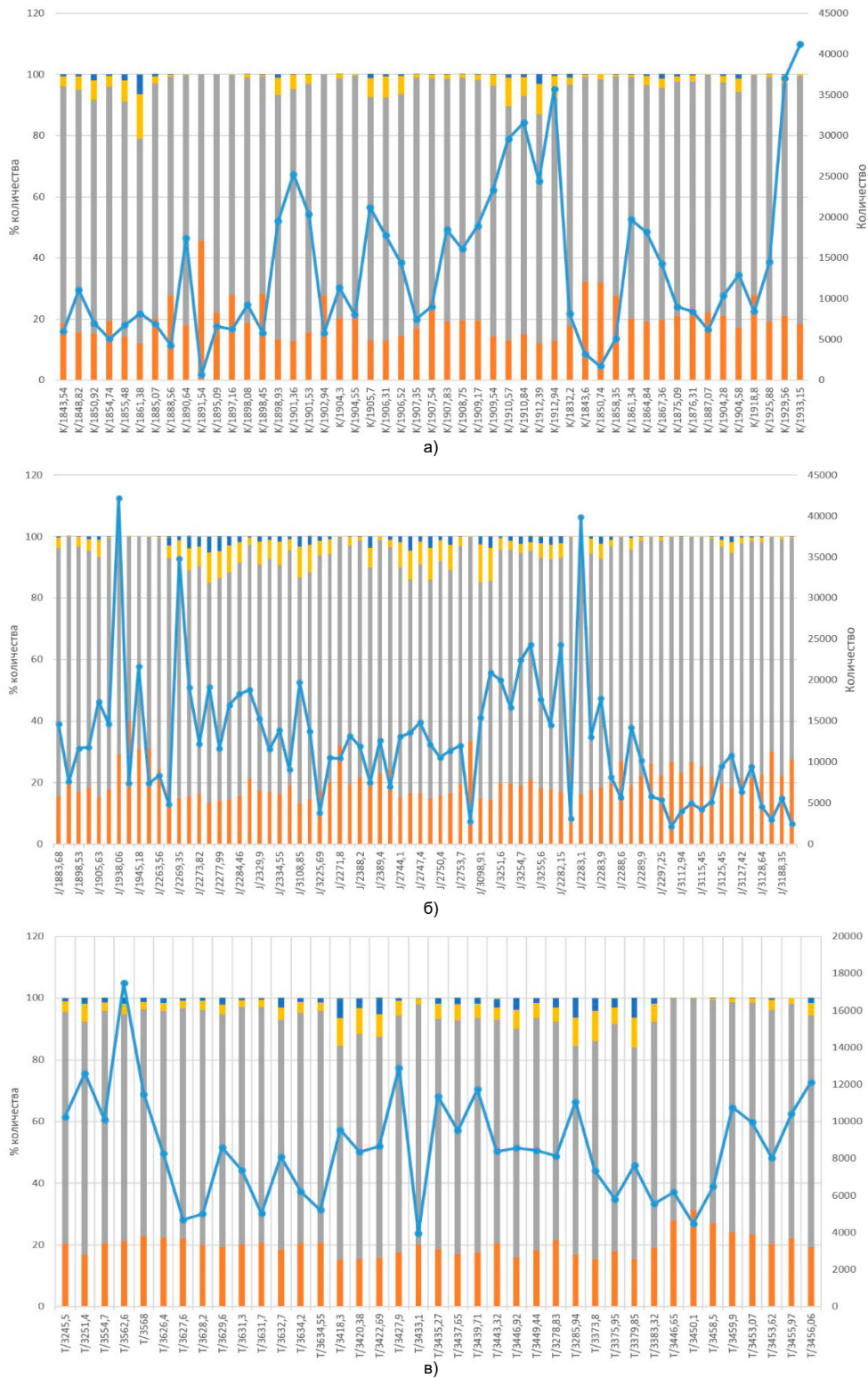


Рисунок 4. Распределение зерен по размерным и количественным классам
Figure 4. Distribution by dimensional and quantitative classes
а) Мен / Cretaceous; б) Юра / Jurassic; в) Триас / Triassic

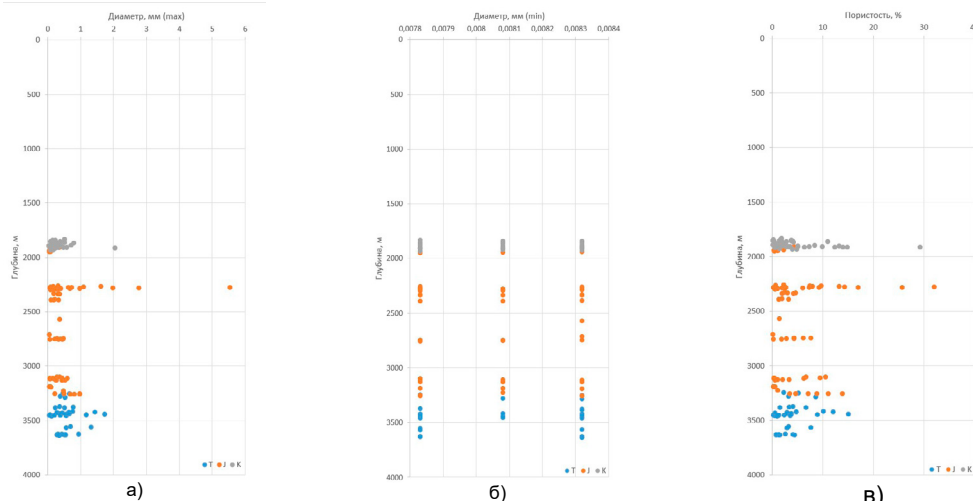


Рисунок 5. Соотношение диаметров зёрен и пористости с глубиной отбора

Figure 5. The ratio of grain diameters and porosity to sampling depth

а) максимальные диаметры / maximum diameters; б) минимальные диаметры / minimum diameters; в) пористость / porosity

Проект по цифровизации позволил провести детальный анализ пористости и гранулометрического состава горных пород. Разработанные методики автоматизированного анализа и обработки данных доказали свою эффективность в условиях лабораторных исследований, что подтверждается статистическими результатами, представленными в данной работе.

Данные по распределению пористости и характеристикам зёрен способствовали созданию точных петрофизических моделей, необхо-

димых для геологического и гидродинамического моделирования. Цифровизация ядерных исследований доказала свою эффективность для повышения точности построения петрофизических моделей. Внедрение технологий цифровизации позволило упростить доступ к данным о керне, улучшить их хранение и организацию. Эти решения формируют основу для создания унифицированных баз данных, которые могут быть использованы в дальнейшем для исследования месторождений и сравнительного анализа.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Доева З.М. – анализ и интерпретация данных, составление статьи; Джарасова Т.С. – интерпретация данных, составление и итоговая переработка статьи, окончательное утверждение версии для публикации; Саудабаев Р.К. – получение, обработка и интерпретация данных; Мербаев Р.Б. – разработка методов и подходов к исследованию, планирование экспериментов; Пронин Н.А. – формулирование идей, постановка целей и задач исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The greatest contribution is distributed as follows: Zarema M. Doyeva – data analysis and interpretation, paper draft; Tolganay S. Jarassova – data interpretation, article compilation and final revision; approval of the version for publication; Renat K. Saudabayev – data collection, processing and interpretation; Rinat B. Merbayev – development of research methods and approaches, and experimental planning; Nikita A. Pronin – formulation of ideas, setting research goals and objectives.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарева Е.А. Цифровизация лабораторных комплексов по исследованию керна // Вести газовой науки. 2021. Т. 1, №46. С. 125–128.
2. Bukharev A.Y., Budenny S.A., Pachezhertsev A.A., et al. Automatic analysis of petrographic thin section images of sandstone // ECMOR XVI – 16th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery; Sept 3–6, 2018; Barcelona, Spain. Available from: earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201802177.
3. Liu H., Ren Y.-L., Li X., et al. Rock thin-section analysis and identification based on artificial intelligent technique // Petroleum Science. 2022. Vol. 19, N 4. P. 1605–1621. doi: [10.1016/j.petsci.2022.03.011](https://doi.org/10.1016/j.petsci.2022.03.011).
4. Rubo R.A., de Carvalho Carneiro C., Michelin M.F., Gloria R.D.S. Digital petrography: Mineralogy and porosity identification using machine learning algorithms in petrographic thin section images // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2019. Vol. 183. doi: [10.1016/j.petrol.2019.106382](https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106382).
5. Зинков А.В., Макишин В.Н. Цифровизация керна: учебное пособие для вузов. Владивосток : Издательство ДФВУ, 2023. 73 с.
6. Идрисова С.А., Тугарова М.А., Стремичев Е.В., Белозеров Б.В. Цифровой керн. Комплексирование данных петрографических исследований карбонатных пород с результатами исследований керна // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2018. №2. С. 36–41.
7. Лазеев А.Н., Тимашев Э.О., Вахрушева И.А., и др. Цифровой керн – текущее состояние и перспективы развития технологии в ПАО «НК «Роснефть» // Нефтяное хозяйство. 2018. doi: [10.24887/0028-2448-2018-11-18-22](https://doi.org/10.24887/0028-2448-2018-11-18-22).
8. Жуковская Е.А., Лоханова О.Д. К вопросу о потенциале цифровизации петрографии осадочных терригенных пород // Экзолит – 2020. Литологические школы России: годичное собрание (научные чтения), посвященное 215-летию основания Московского общества испытателей природы; Май 25–26, 2020; Москва, Россия. Режим доступа: geokniga.org/bookfiles/geokniga-2021-02-11-lythology.pdf. Дата обращения: 12.10.2024.

REFERENCES

1. Ponomareva YA. Digitizing core testing laboratory equipment. *Vesti gazovoy nauki*. 2021;1(46):125–128. (In Russ).
2. Bukharev AY, Budenny SA, Pachezhertsev AA, et al. Automatic analysis of petrographic thin section images of sandstone. ECMOR XVI – 16th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery; 2018 Sept 3–6; Barcelona, Spain. Available from: earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201802177.
3. Liu H, Ren Y-L, Li X, et al. Rock thin-section analysis and identification based on artificial intelligent technique. *Petroleum Science*. 2022;19(4):1605–1621. doi: [10.1016/j.petsci.2022.03.011](https://doi.org/10.1016/j.petsci.2022.03.011).
4. Rubo RA, de Carvalho Carneiro C, Michelin MF, Gloria RDS. Digital petrography: Mineralogy and porosity identification using machine learning algorithms in petrographic thin section images. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2019;183:106382. doi: [10.1016/j.petrol.2019.106382](https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106382).
5. Zinkov AV, Makishin VN. Tsifrovizatsiya kerna: uchebnoye posobiye dlya vuzov. Vladivostok: FEFU; 2023. 73 p. (In Russ).
6. Idrisova SA, Tugarova MA, Stremichev EV, Belozеров BV. Digital core. Integration of carbonate rocks thin section studies with results of routine core tests. *PROneft. Professionally about Oil*. 2018;(2):36–41. (In Russ).
7. Lazeev AN, Timashev EO, Vakhrusheva IA, et al. Digital Core technology development in Rosneft Oil Company. *Oil Industry*. 2018;11. doi: [10.24887/0028-2448-2018-11-18-22](https://doi.org/10.24887/0028-2448-2018-11-18-22). (In Russ).
8. Zhukovskaya YA, Lokhanova OD. K voprosu o potentsiale tsifrovizatsii petrografii osadochnykh terrigennykh porod. Exolith – 2020. Lithological schools of Russia. Annual meeting (scientific readings) dedicated to the 215-th anniversary of the Moscow Society of Naturalists; 25–26 May, 2020; Moscow, Russia. Available from: geokniga.org/bookfiles/geokniga-2021-02-11-lythology.pdf. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Доева Зарема Муратовна

ORCID [0009-0004-4145-6933](https://orcid.org/0009-0004-4145-6933)

e-mail: z.doyeva@kmge.kz.

***Джарасова Толганай Советкановна**

PhD

ORCID [0000-0002-2900-9872](https://orcid.org/0000-0002-2900-9872)

e-mail: t.jarassova@kmge.kz.

Саудабаев Ренат Курманалиевич

ORCID [0009-0001-7610-1305](https://orcid.org/0009-0001-7610-1305)

e-mail: r.saudabayev@kmge.kz.

Мербаев Ринат Бердибекович

ORCID [0009-0003-3483-330X](https://orcid.org/0009-0003-3483-330X)

e-mail: r.merbaev@kmge.kz.

Пронин Никита Алексеевич

PhD

ORCID [0009-0008-8686-3523](https://orcid.org/0009-0008-8686-3523)

e-mail: n.pronin@kmge.kz.

AUTHORS' INFO

Zarema M. Doyeva

ORCID [0009-0004-4145-6933](https://orcid.org/0009-0004-4145-6933)

e-mail: z.doyeva@kmge.kz.

***Tolganay S. Jarassova**

PhD

ORCID [0000-0002-2900-9872](https://orcid.org/0000-0002-2900-9872)

e-mail: t.jarassova@kmge.kz.

Renat K. Saudabayev

ORCID [0009-0001-7610-1305](https://orcid.org/0009-0001-7610-1305)

e-mail: r.saudabayev@kmge.kz.

Rinat B. Merbayev

ORCID [0009-0003-3483-330X](https://orcid.org/0009-0003-3483-330X)

e-mail: r.merbaev@kmge.kz.

Nikita A. Pronin

PhD

ORCID [0009-0008-8686-3523](https://orcid.org/0009-0008-8686-3523)

e-mail: n.pronin@kmge.kz.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author