

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ

Оригинальная статья

УДК 552.086:552.122:553.087

<https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-1.art2>

Эффективность имидж-анализа гранулометрического состава петрографических шлифов при исследовании терригенных пород-коллекторов

Д.А. Пушкарева ✉

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Москва, Россия

Аннотация. *Актуальность.* Имидж-анализ гранулометрического состава петрографических шлифов является эффективным методом, дополняющим петрографический и седиментационно-ситовой анализы пород-коллекторов. Однако из-за несовершенных особенностей распознавания изображения и специфики строения горных пород применение метода имеет ряд ограничений. *Цель работы.* Показать эффективность применения имидж-анализа на примере нескольких групп терригенных пород, отличающихся структурными и минералогическими параметрами. *Материалы и методы.* Исследование проводилось на оптическом микроскопе с анализатором петрографических исследований «КЕРН С7». *Результаты.* В работе обозначена область применения и основные ограничения имидж-анализа, а также обоснована необходимость ручной корректировки изображения для отдельных типов пород и избирательного контроля полученных результатов лабораторными методами исследования. *Выводы.* Результаты работы позволят подобрать рациональный и эффективный комплекс для лабораторного анализа пород-коллекторов в зависимости от их литологических особенностей.

Ключевые слова: имидж-анализ, седиментационно-ситовой анализ, микроскопические исследования, прокрашенные петрографические шлифы, фракционный состав, грубозернистые породы, цементация пород-коллекторов

Финансирование: источники финансирования отсутствовали.

Для цитирования: Пушкарева Д.А. Эффективность имидж-анализа гранулометрического состава петрографических шлифов при исследовании терригенных пород-коллекторов // Актуальные проблемы нефти и газа. 2024. Т. 15, № 1. С. 21–36. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-1.art2>

✉ Пушкарева Дарья Андреевна, e-mail: D_Pushkareva@vniigaz.gazprom.ru

© Пушкарева Д.А., 2024



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Введение

Одной из основных задач при исследовании пород-коллекторов является анализ факторов, определяющих морфологию пустотного пространства. Пустотное пространство контролируется седиментологическими (текстура, гранулометрический состав, сортировка, первичный цемент и др.) и эпигенетическими (аутигенное минералообразование, растворение, регенерация и др.) особенностями пород. Они анализируются с помощью петрографического, гранулометрического и рентгенофазового анализов, микрофотографии и других лабораторных методов исследования.

Упростить комплекс лабораторных исследований позволяет применение автоматизированного имидж-анализа прокрашенных петрографических шлифов [1]. В частности, это касается имидж-анализа гранулометрического состава, который позволяет выполнять автоматический подсчет фракционного состава, анализировать структурные характеристики минералов и обломков пород, содержание и строение цемента и т. д. [2]. Однако, при относительной простоте и удобстве использования, данный метод имеет ряд ограничений. Они связаны с минералогическими и структурными особенностями пород и несовершенными техническими параметрами микроскопа и программного обеспечения [3].

Цель данной работы заключается в обозначении границ применения имидж-анализа гранулометрического состава пород-коллекторов в зависимости от их структурных и минералогических особенностей. Работа базировалась на сравнении и анализе результатов измерения гранулометрического состава,

полученных различными методами в нескольких группах пород. Проанализированные данные позволили определить проблемные места имидж-анализа и дать рекомендации по корректному использованию полученных результатов.

Подбор материала и методика исследования

В работе были исследованы более 500 образцов терригенных горных пород из нефтегазовых месторождений и подземных хранилищ газа центральной части России и Восточной Сибири. Из образцов была сделана выборка, характеризующая породы-коллекторы различного типа: песчаники разномелкозернистые, гравийные пористые, песчаники средне-мелкозернистые пористые, песчаники мелкозернистые алевритовые пористые, алевриты песчаные пористые, алевриты песчаные с седиментогенным глинистым цементом, а также песчаники разномелкозернистые с аутигенным ангидритовым, доломитовым и кварцевым цементом.

Имидж-анализ гранулометрического состава выполнялся на экстрагированных и прокрашенных цветной смолой шлифах с помощью микроскопа и анализатора петрографических исследований ядра «КЕРН С7» программного комплекса «SIAMS Photolab». При анализе использовался следующий алгоритм: прокрашенный шлиф центрировался на столике микроскопа, задавалось увеличение ($4\times$ или $10\times$, в зависимости от размера обломочного материала). На следующем этапе проводились последовательные снимки шлифа: один – в параллельных николях и десять – в скрещенных николях, отличающиеся поворотом столика микроскопа на 10° для фиксации полного оптического погасания обломков.

На прокрашенные участки шлифа автоматически накладывалась маска пор, отделяющая поровое пространство от породы. Оставшаяся часть изображения анализировалась для выделения контуров обломков и цемента с помощью алгоритмов программного обеспечения. При необходимости в предварительные результаты анализа вносилась ручная корректировка контуров зерен и цемента, редактировались критерии их распознавания, накладывались фильтры для лучшего распознавания обломочной и цементирующей масс и т. д. Результаты имидж-анализа были представлены в виде гистограмм распределения фракционного состава с коэффициентами сортировки по Траску (St) и медианным диаметром зерен (Md) [4].

Имидж-анализ соотносился с лабораторными методами исследования, в первую очередь – с комбинированным седиментационно-ситовым методом анализа гранулометрического состава. Седиментационно-ситовой анализ проводился на навеске образца массой 50 г, согласно ГОСТ 12536-2014 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава», и по необходимости дополнялся предварительной экстракцией, обессоливанием и обработкой 5%-й соляной кислотой. Исследование образцов с глинистым цементом дополнялось результатами рентгенофазового анализа, проводимого на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA согласно ГОСТ 21216-2014 «Сырье глинистое. Методы испытаний» [5]. Седиментационно-ситовой анализ и рентгенофазовый анализы выполнялись сотрудниками лаборатории комплексных исследований ядерного материала ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Для достоверности и схождения результатов сколы и навески для

петрографического, гранулометрического и рентгенофазового анализов отбирались максимально близко друг к другу.

Результаты анализа

Наиболее достоверные результаты имидж-анализа гранулометрического состава были установлены для песчаников средне-мелкозернистых, песчаников мелкозернистых и алевролитов песчаных пористых с цементом различного состава содержанием не более 5–7%. В данных типах пород размер и степень сортировки обломков, определенные имидж-анализом, во многом соответствуют результатам подсчета, определенным седиментационно-ситовым методом (рис. 1, 2).

При этом качество автоматизированного подсчета определяется составом песчаника: при наличии большого количества обломков пород и измененных полевых шпатов происходит их неверное распознавание как цементирующей глинистой массы. Данная ошибка требует ручной корректировки изображения, за счет чего при прочих равных распознавание фракционного состава кварцевого песчаника проходит в несколько раз быстрее, чем, например, грауваккового.

При значительном увеличении зернистости песчаника имидж-анализ становится неэффективным сразу по нескольким причинам. Во-первых, результаты имидж-анализа в крупнозернистых и гравийных песчаниках часто отличаются в пределах одного шлифа в зависимости от точки проводимого анализа. Это связано со спецификой накопления крупнозернистых обломков в осадке – плохой сортировкой, градацией материала и др. В результате из-за большого размера зерен и ограниченной площади анализируемой зоны не удается получить представительное изображение шлифа для исследования.

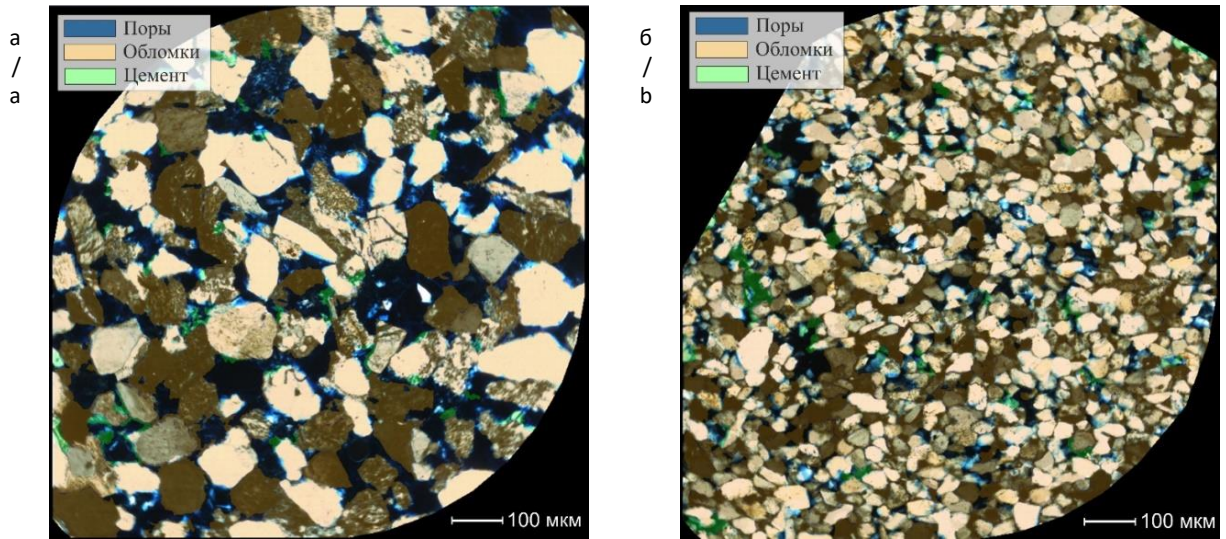


Рис. 1. Образцы песчаника алевритового и алевролита песчанистого мезомиктового состава хорошей сортировки с незначительным содержанием глинистого цемента:
а – песчаник мелкозернистый алевритовый; б – алевролит песчанистый

Fig. 1. Samples of well-sorted silty sandstone and sandy siltstone with a mesomictic composition and small amount of clay cement: а – fine-grained silty sandstone; б – sandy siltstone

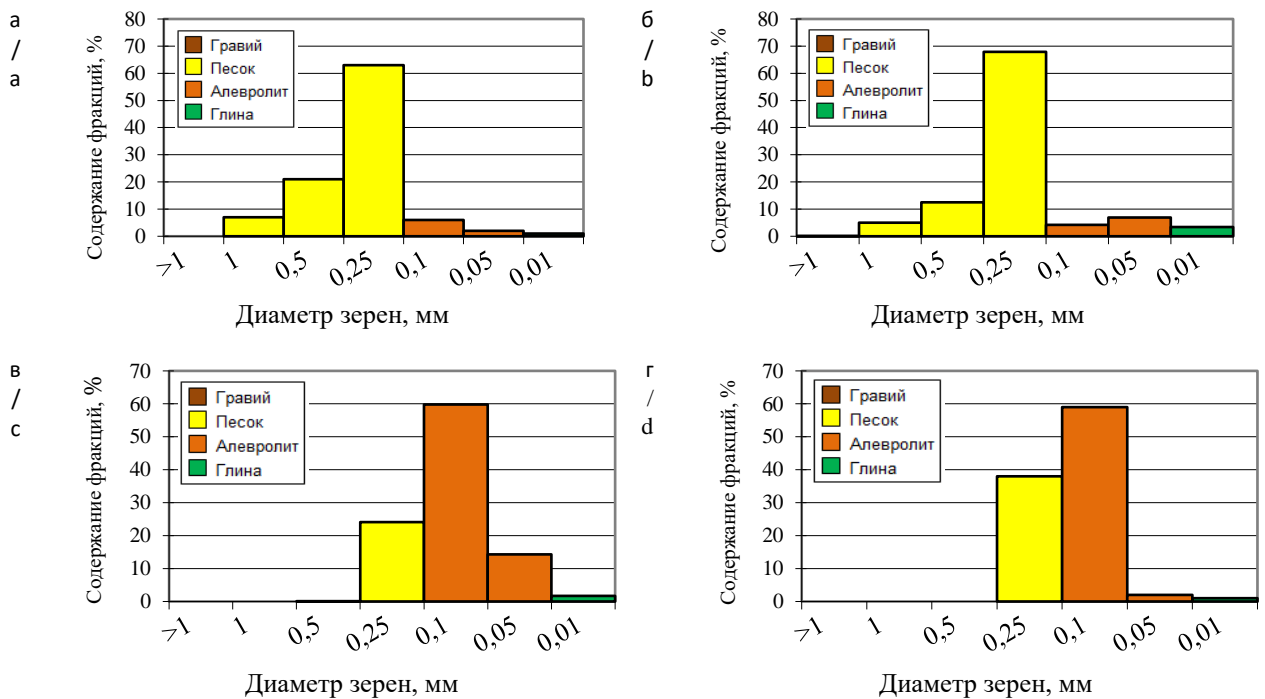


Рис. 2. Фракционный состав образцов песчаника алевритового и алевролита песчанистого с незначительным содержанием глинистого цемента: а – имидж-анализ песчаника алевритового (St – 1,7; Md – 169 мкм); б – седиментационно-ситовой анализ навески песчаника алевритового (St – 1,4; Md – 150 мкм); в – имидж-анализ алевролита песчанистого (St – 1,2; Md – 81 мкм); г – седиментационно-ситовой анализ навески алевролита песчанистого (St – 1,3; Md – 72 мкм)

Fig. 2. Fractional composition of silty sandstone and sandy siltstone with a small amount of clay cement: а – image analysis of silty sandstone (St – 1.7; Md – 169 μm); б – sedimentation-sieve analysis of silty sandstone (St – 1.4; Md – 150 μm); в – image analysis of sandy siltstone (St – 1.2; Md – 81 μm); г – sedimentation-sieve analysis of sandy siltstone (St – 1.3; Md – 72 μm)

Во-вторых, из-за большого размера крупнозернистые и гравийные обломки не попадают полностью в пределы анализируемой площади микроскопа. Как следствие, их измерение проводится только по видимым контурам, что искажает медианный диаметр обломков в породе. Данные проблемы хорошо проиллюстрированы на образце гравелита песчаного с градиционно слоистой текстурой. На рис. 3а и 3б представлены две фотографии шлифа из данного образца, снятые в разных прослоях. Как видно при сравнении гистограмм (рис. 4а, 4б, 4в), имидж-анализ обоих изображений дает занижение медианного диаметра обломков. Достоверные результаты фракционного состава были установлены только по данным седиментационно-ситового анализа за счет усреднения навески исследуемого образца и возможности учитывать в подсчетах фактические размеры крупных обломков.

В-третьих, ошибки в анализе связаны с составом гравийных обломков. Крупнозернистая обломочная часть песчаников может быть представлена гранитоидами, микрокварцитами и другими типами пород, имеющими «сегментированное» строение. Например, на рис. 3а представлены обломки микрокварцитов, внутри которых красными пунктирными линиями обозначены контуры исходных преобразованных обломков кварца. В случае если сегменты обломка имеют одинаковые оптические свойства, он будет распознаваться как единое целое за счет равномерного погасания при вращении столика микроскопа. В противном случае обломок будет распознаваться как масса мелкозернистых обломков с плотными конформными контактами. Ручная

корректировка контуров обломка в таком случае становится проблематичной, что приводит к сильным погрешностям в измерении.

Имидж-анализ показывает хорошие результаты при исследовании цементированных пород, однако качество анализа во многом определяется составом и типом распределения цемента.

Проблемной категорией для имидж-анализа фракционного состава являются песчаники мелкозернистые и алевролиты с седиментогенным глинистым цементом. Оптические свойства некоторых мелких обломков пород и калиевых полевых шпатов, особенно вторично измененных, плохо распознаются микроскопом на фоне глинистого цемента. Проблема распознавания не решается при увеличении масштаба – контуры обломков и цемента приобретают размытую границу при низком рельефе зерна, что усложняет их автоматическое распознавание. Анализ такого типа пород почти всегда требует ручной корректировки контуров обломков и их искусственного «вынесения» из области цемента.

На рис. 5а, 6а представлены фотография шлифа и гистограмма имидж-анализа для алевролита песчаного с поровым глинистым цементом. Ручная корректировка изображения позволила выделить обломки алевролитовой фракции, ошибочно отнесенные к глинистому цементу (рис. 5б, 6б). Однако в глинистом цементе после корректировки все еще остается большая часть визуально трудноразличимых мелкоалевролитовых обломков. Они четко выделяются по данным седиментационно-ситового анализа (рис. 6в), что указывает на расхождения в подсчетах различными методами.

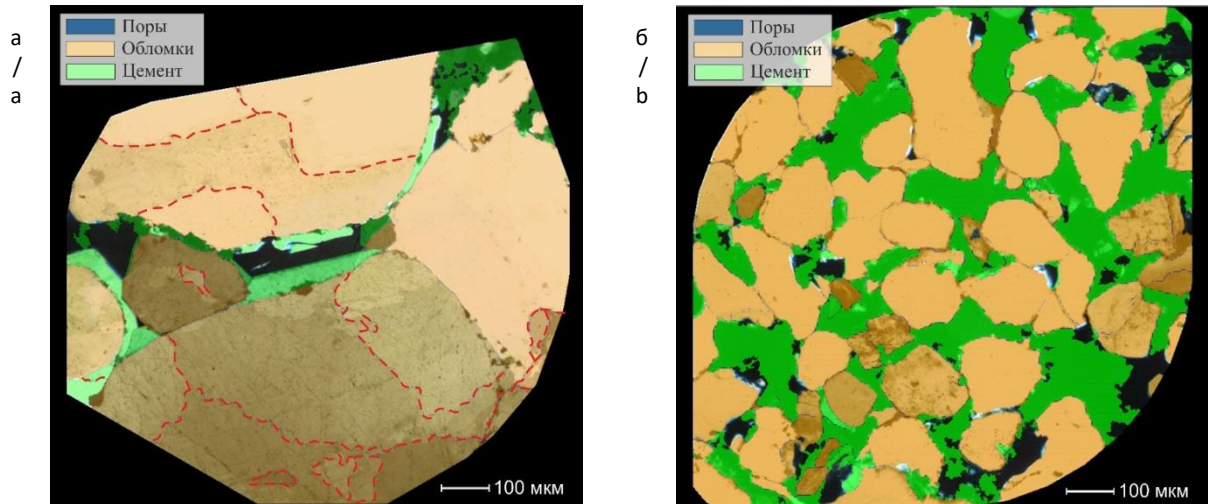


Рис. 3. Образец гравелита песчаного градационно слоистого плохой сортировки:
 а – участок с преобладанием гравия; б – участок с преобладанием среднезернистого песчаника

Fig. 3. Sample of poorly sorted sandy gravelstone with gradational layering:
 а – area with a predominance of gravel; б – area with a predominance of medium-grained sandstone

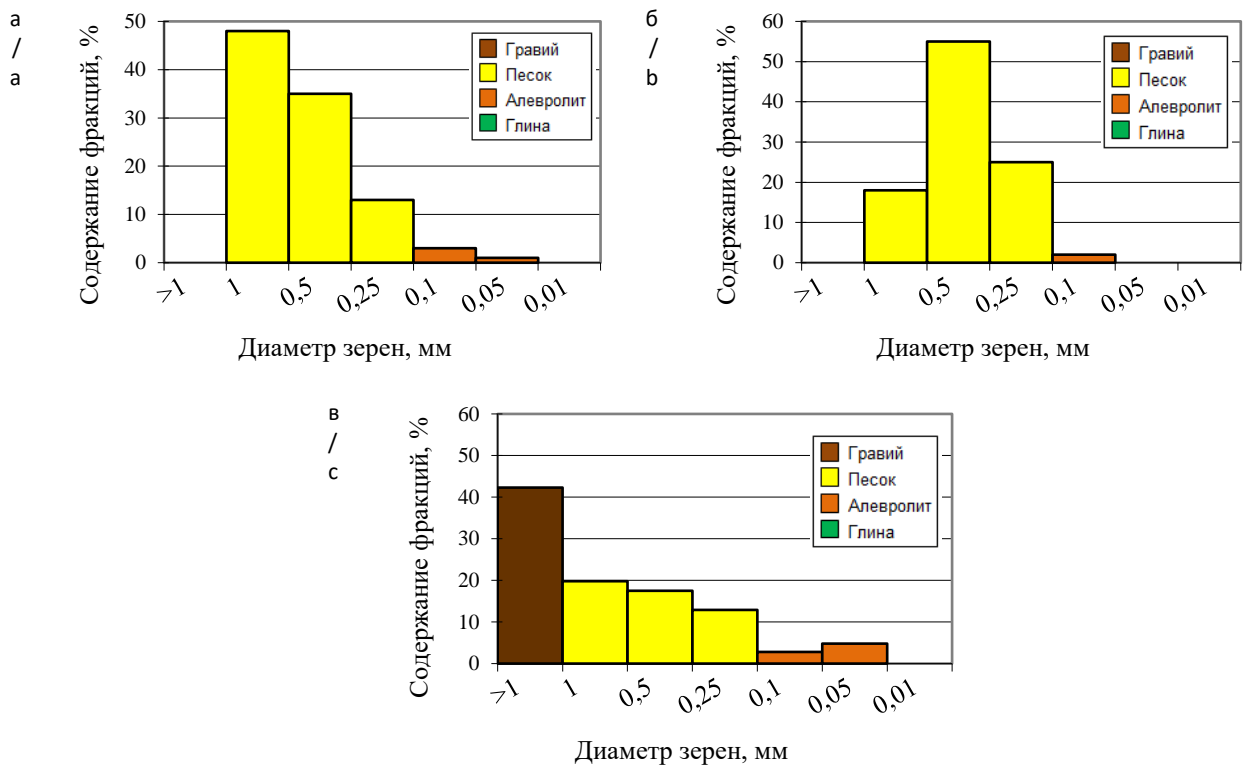


Рис. 4. Фракционный состав образца гравелита песчаного градационно слоистого плохой сортировки:
 а – имидж-анализ гравелита на участке с преобладанием гравия (St – 6,3; Md – 332 мкм);
 б – имидж-анализ гравелита на участке с преобладанием песчаника (St – 1,9; Md – 222 мкм);
 в – седиментационно-ситовой анализ навески гравелита (St – 2,3; Md – 764 мкм)

Fig. 4. Fractional composition of poorly sorted sandy gravelstone with gradational layering:
 а – image analysis of gravelstone in an area with a predominance of gravel (St – 6.3; Md – 332 μm);
 б – image analysis of gravelstone in an area with a predominance of sandstone (St – 1.9; Md – 222 μm);
 в – sedimentation-sieve analysis of gravelstone (St – 2.3; Md – 764 μm)

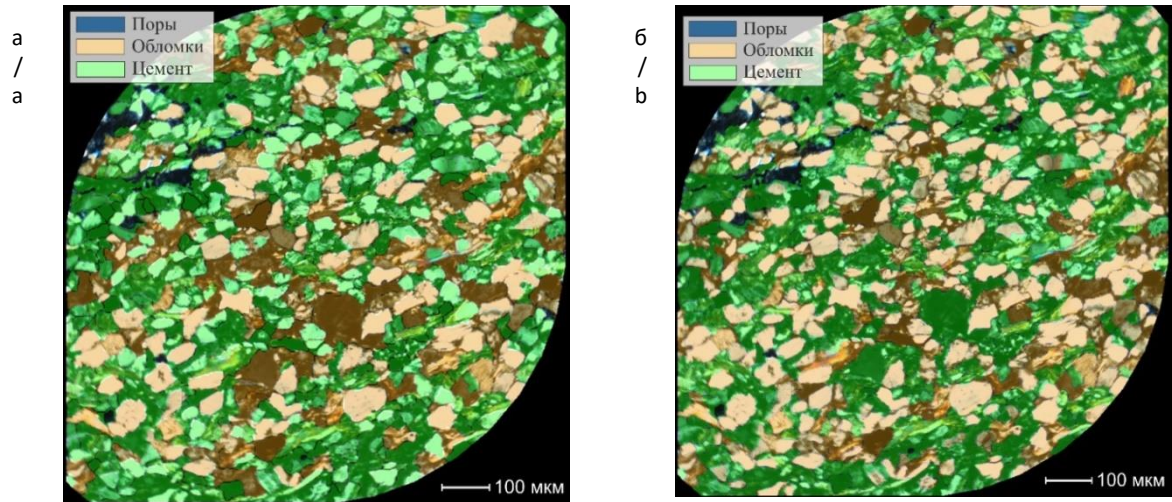


Рис. 5. Образец алевролита песчаного с глинистым цементом:
а – без ручной корректировки изображения; б – с ручной корректировкой изображения

Fig. 5. Sample of sandy siltstone with clay cement:
а – without manual image correction; б – with manual image correction

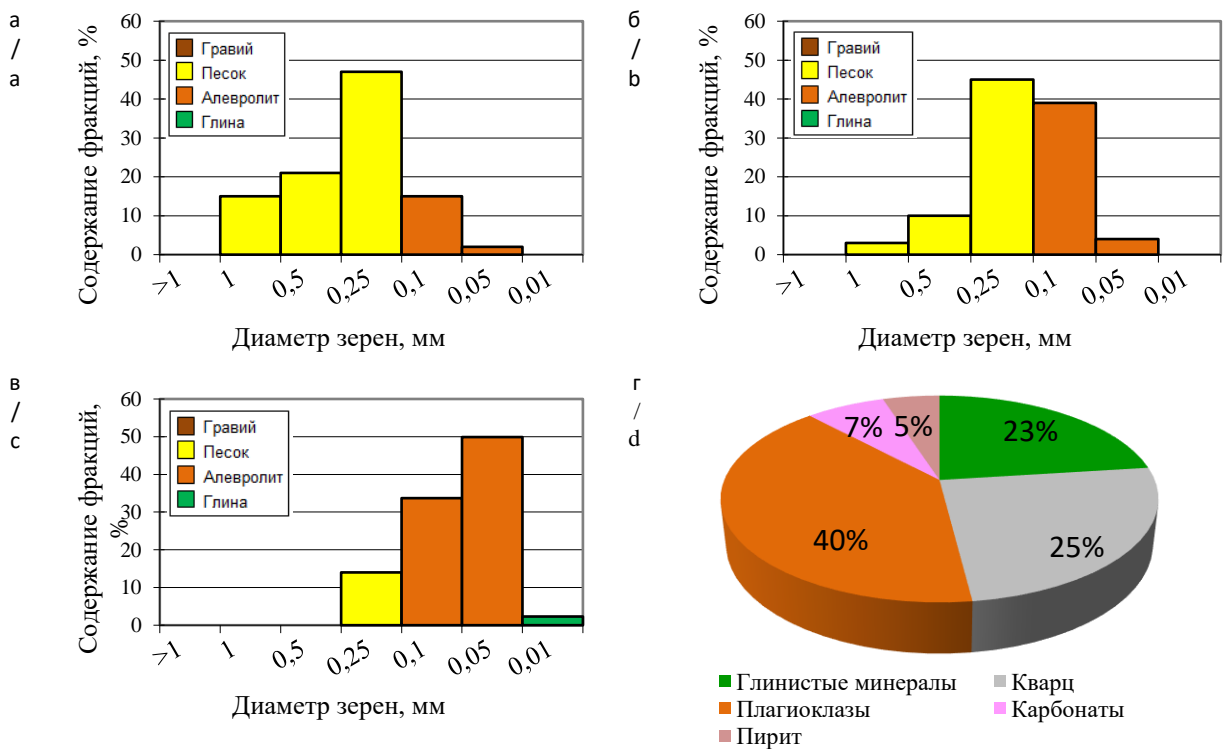


Рис. 6. Фракционный состав образца алевролита песчаного хорошей сортировки с поровым глинистым цементом: а – имидж-анализ алевролита (без ручной корректировки изображения) (St – 1,4; Md – 152 мкм); б – имидж-анализ алевролита (с ручной корректировкой изображения) (St – 1,3; Md – 98 мкм); в – седиментационно-ситовой анализ навески алевролита (St – 2,0; Md – 46 мкм); г – рентгенофазовый анализ навески алевролита

Fig. 6. Fractional composition of well-sorted sandy siltstone with pore clay cement: а – image analysis of siltstone (without manual image correction) (St – 1.4; Md – 152 μm); б – image analysis of siltstone (with manual image correction) (St – 1.3; Md – 98 μm); в – sedimentation-sieve analysis of siltstone (St – 2.0; Md – 46 μm); д – X-ray phase analysis of siltstone

Отдельно стоит остановиться на количестве глинистого цемента. На рис. 5б видно, что после корректировки цементирующая масса визуально занимает порядка 20–30% площади шлифа, в то время как по данным седиментационно-ситового анализа содержание глинистой фракции составляет 2–3% (см. рис. 6в), а по данным рентгенофазового анализа – 23% (рис. 6г). В данном случае наблюдается разница в структурном и минералогическом типах глинистости [6]. В подобных типах пород выполнение имидж-анализа может выступать в качестве контрольного метода для исследования глинистости в породе, особенно при отсутствии результатов рентгенофазового анализа как более сложного и дорогостоящего метода.

По сравнению с глинистым, карбонатный и ангидритовый цемент гораздо лучше поддаются имидж-анализу. Эффективное распознавание фракционного состава песчаников с карбонатным цементом происходит за счет оптической контрастности и часто ясно-кристаллического строения кальцита и доломита, отличающихся от породообразующих обломков. Это делает имидж-анализ эффективным и быстрым дополнением к седиментационно-ситовому анализу и частично заменяет определение общей карбонатности в породе.

В отличие от карбонатного, ангидритовый цемент не поддается полной отмывке или растворению в соляной кислоте при проведении седиментационно-ситового анализа. Остатки цемента на зернах приводят к завышению медианного диаметра, поэтому фракционный состав ангидритизированных песчаников корректнее устанавливается с помощью имидж-анализа.

На рис. 7а, 8а представлены образец и гистограмма имидж-анализа песчаника средне-мелкозернистого средней сортировки

с крупнокристаллическим ангидритовым цементом пойкилитового типа. На рис. 8б показано, что навеска данного образца по результатам седиментационно-ситового анализа представлена песчаником, медианный диаметр которого в два раза больше визуально наблюдаемых значений. В данном случае имидж-анализ позволяет легко и без ручной корректировки распознать контрастно выделяющийся ангидритовый цемент на фоне серой обломочной массы и получить корректный фракционный состав породы.

Сложной для распознавания категорией являются песчаники с регенерационным кварцевым и полевошпатовым цементом. В процессе регенерации обломок стремится воссоздать исходные грани кристалла и приобретает по контуру кайму аналогичного состава и оптической ориентировки. Это создает проблемы не только при седиментационно-ситовом, но и при имидж-анализе. Из-за единой оптической ориентировки обломка и его каймы не происходит автоматическое разделение зерна на непосредственно обломок и цемент. В данном случае имидж-анализ требует обязательной ручной корректировки изображения, чтобы не завышать диаметры фракций и не занижать содержание цемента.

На рис. 7б приведена фотография шлифа песчаника с регенерационным кварцевым цементом с выполненной ручной корректировкой – разделением обломков на исходное зерно и регенерационный цемент. Согласно имидж-анализу (рис. 8в), после корректировки данную породу можно отнести к мелко-среднезернистому песчанику с кварцевым цементом. Результаты имидж-анализа до ручной корректировки (рис. 8г) показывают, что без выделения цемента порода была автоматически отнесена к песчанику крупно-средне-зернистому.

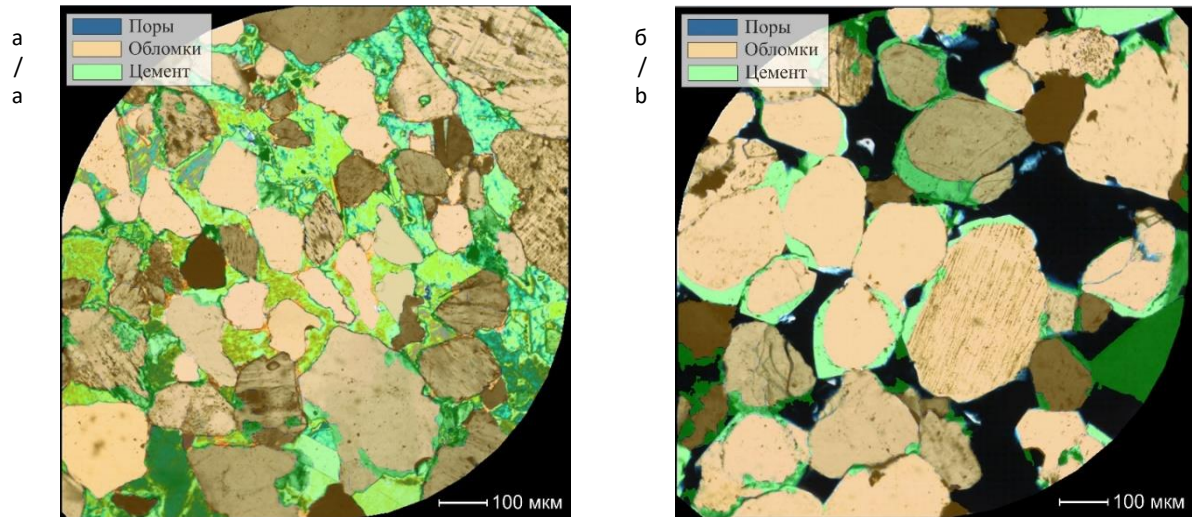


Рис. 7. Образцы песчаников: а – с пойкилитовым ангидритовым цементом; б – с регенерационным кварцевым цементом (с ручной корректировкой изображения)

Fig. 7. Sandstone samples with anhydrite and quartz cement:

a – with poikilitic anhydrite cement; b – with regeneration quartz cement (with manual image correction)

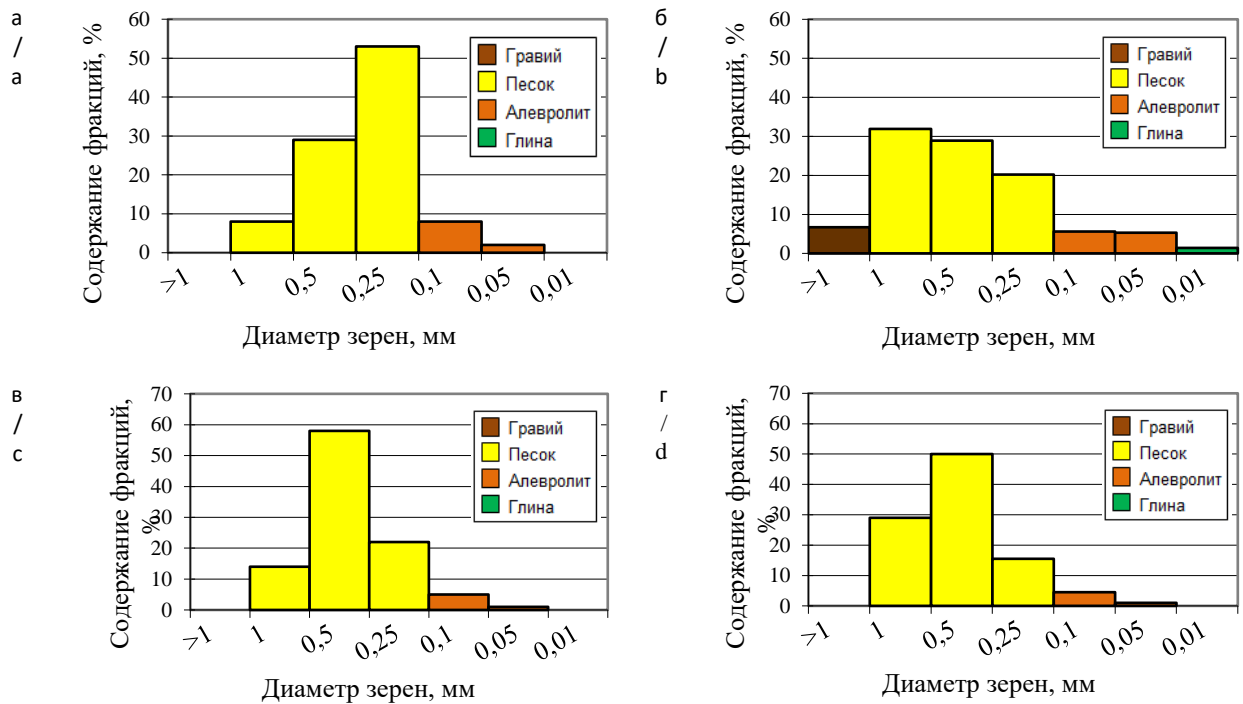


Рис. 8. Фракционный состав образцов песчаников с ангидритовым и кварцевым цементом: а – имидж-анализ песчаника с ангидритовым цементом (St – 2,5; Md – 188 мкм); б – седиментационно-ситовой анализ песчаника с ангидритовым цементом (St – 1,9; Md – 380 мкм); в – имидж-анализ песчаника с кварцевым цементом (с ручной корректировкой изображения) (St – 2,9; Md – 245 мкм); г – имидж-анализ песчаника с кварцевым цементом (без ручной корректировки изображения) (St – 1,9; Md – 258 мкм)

Fig. 8. Fractional composition of sandstones with anhydrite and quartz cement: a – image analysis of sandstone with anhydrite cement (St – 2.5; Md – 188 μm); b – sedimentation-sieve analysis of sandstone with anhydrite cement (St – 1.9; Md – 380 μm); c – image analysis of sandstone with quartz cement (with manual image correction) (St – 2.9; Md – 245 μm); d – image analysis of sandstone with quartz cement (without manual image correction) (St – 1.9; Md – 258 μm)

Обсуждение результатов и рекомендации

Имидж-анализ гранулометрического состава песчаников средне-мелкозернистых и алевролитов песчаных показывает хорошую сходимость с результатами седиментационно-ситового анализа в случае хорошей и средней сортировки пород (коэффициент Траска до 2,0). При плохой сортировке результаты подсчетов могут не совпадать, так как при седиментационно-ситовом методе исследуется усредненная навеска породы, а при имидж-анализе – ее точечный микроснимок. Для достоверности при исследовании пористых мелкозернистых пород с плохой сортировкой рекомендуется делать несколько снимков из разных участков шлифа и соотносить их с результатами седиментационно-ситового анализа.

Имидж-анализ крупнозернистых фракций не является эффективным методом исследования из-за большого диаметра обломков, которые не захватываются объективом микроскопа [7]. На данный момент проблему нельзя решить сшивкой нескольких фотографий шлифа, поскольку для замера необходимо вращение столика микроскопа с фиксацией серии снимков. Опыт исследований показывает, что принципиальные расхождения в результатах начинаются при медианном диаметре обломочной части свыше 0,4–0,5 мм, причем это значение меньше для плохо сортированных разностей. Поэтому имидж-анализ крупнозернистых песчаников рекомендуется делать с несколькими замерами в разных точках шлифа, а исследование гравийных песчаников проводить седиментационно-ситовым методом.

Качество имидж-анализа определяется не только структурными особенностями, но и составом породообразующей части и

цемента. Распознавание обломочной и цементирующей частей намного эффективнее для чистых кварцевых песчаников и усложняется при появлении обломков смешанного состава и полевых шпатов. Для пород аркозовой и граувакковой групп рекомендуется дополнительный контроль изображения с ручным выделением обломочной части из цемента. Особенно важна ручная корректировка для алевролитов граувакково-аркозовых с чешуйчато-волокнуистым глинистым цементом, в которых обломочная масса сливается с цементирующей. В таких породах требуется соотносить результаты имидж-анализа с седиментационно-ситовым и рентгенофазовым методами, обращая внимание на разницу в структурном и минералогическом типах глинистости.

Состав глинистой массы почти не влияет на качество распознавания изображения, за исключением хорошо окристаллизованного аутигенного каолинита. Он часто встречается в выщелоченных полевошпат-кварцевых песчаниках в виде сгруппированных «стопок», за счет чего легко распознается на фоне обломочной массы. При этом разрешающей способности микроскопа часто не хватает для выделения мелких пор в пределах каолинитового цемента, что может вносить погрешность в общие подсчеты.

Имидж-анализ песчаников с регенерационным цементом всегда требует ручной корректировки изображения с выделением каемок. Однако, по сравнению с другими методами исследования, после ручной корректировки имидж-анализ позволяет определить содержание новообразованного кварцевого цемента, а также установить исходные и приобретенные параметры зерен (фактор удлинения, компактности, изрезанности и т. д.) [8].

При наличии в песчаниках карбонатного цемента седиментационно-ситовой анализ взаимозаменяем имидж-анализом, в то время как наличие плохо растворимого ангидрита приводит к расхождению в результатах. Даже при наличии спорадически развитого ангидрита рекомендуется использовать имидж-анализ, поскольку неполное удаление цемента приводит к завышению медианного диаметра зерен в навеске. Соответственно, чем больше содержание ангидрита в породе, тем менее эффективно применение седиментационно-ситового анализа.

Примером эффективного применения имидж-анализа может служить Чайядинское нефтегазоконденсатное месторождение, продуктивные пласты которого представлены плохо сортированными градационными разномерными песчаниками и песчаными гравелитами с неравномерно развитым кварцевым, ангидритовым, доломитовым и реже – глинистым цементом [9, 10]. Смещение первичных особенностей и вторичных изменений пород требуют применения разных методов исследования, а также контроля и соотнесения полученных результатов для каждого отдельного литотипа.

В целом имидж-анализ может эффективно применяться на хорошо исследованных объектах с коллекторами однородного строения. Например, он может заменять седиментационно-ситовой метод при изучении большого количества образцов хорошо сортированных кварцевых песчаников из коллекторов подземных хранилищ газа. В то же время имидж-анализ малоэффективен при изучении мелкозернистых аркозово-граувакковых

песчаников и алевролитов с глинистым цементом, например, мелководно-шельфового генезиса («рябчик» и другие типы текстур).

Приведенные в работе группы пород, в которых результаты имидж-анализа совпадают с результатами седиментационно-ситового анализа, предложено рассмотреть в качестве контрольных групп для обучения нейросетей при распознавании гранулометрического состава пород по петрографическим шлифам [11, 12]. Полученные результаты также могут найти свое применение при создании цифровых моделей ядра [13].

Заключение

Имидж-анализ показал себя эффективным методом исследования, который может автоматизировать, дополнять и корректировать результаты петрографического и седиментационно-ситового анализов. Метод может успешно применяться на хорошо исследованных объектах с коллекторами однородного строения и хорошей сортировки. Однако он менее эффективен при изучении мелкозернистых пород сложного состава с различными типами цемента, что требует привлечения дополнительных методов исследования.

Результаты данной работы позволят сформировать эффективный комплекс для лабораторного исследования терригенных коллекторов в зависимости от их состава и структурных особенностей. Полученные результаты могут найти свое применение при создании цифровых моделей ядра и работе с нейросетями.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список источников

1. *Идрисова С.А., Тугарова М.А., Стремичев Е.В., Белозеров Б.В.* Цифровой керн. Комплексирование данных петрографических исследований карбонатных пород с результатами изучения керна // *ПРОнефть. Профессионально о нефти.* 2018. № 2(8). С. 36–41. <https://doi.org/10.24887/2587-7399-2018-2-36-41>
2. *Bukharev A.Y., Budennyu 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, Barcelona, Spain, 3–6 September 2018.* <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201802177>
3. *Асташкин Д.А.* Особенности определения гранулометрического состава пород различными методами // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений.* 2010. № 5. С. 78–82.
4. *Шванов В.Н.* Песчаные породы и методы их изучения. Л.: Недра, 1969. 248 с.
5. *Михалкина О.Г.* Применение метода рентгеновской дифракции для исследования керна и техногенных продуктов // *Вести газовой науки.* 2016. № 4(28). С. 96–107.
6. *Михалкина О.Г., Семенов Е.О., Пушкарева Д.А.* Особенности исследования глинистых минералов пород-коллекторов // *Глины и глинистые минералы: Материалы докладов VI Российской Школы по глинистым минералам и IV Российского Сопещения по глинам и глинистым минералам.* М.: Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, 2019. С. 143–144.
7. *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: Сб. науч. материалов.* М.: МАКС Пресс, 2020. С. 118–120.
8. *Федорцов И.В., Алиевский В.М., Гайдуков В.В. и др.* Автоматизация петрографического метода определения вещественного и гранулометрического состава породы // *Аналитика и контроль.* 2006. Т. 10, № 2. С. 144–151.
9. *Рыжов А.Е., Перунова Т.А., Орлов Д.М.* Структура порового пространства пород-коллекторов ботубинского горизонта Чайнинского месторождения // *Вести газовой науки.* 2011. № 1(6). С. 162–174.
10. *Чурикова И.В., Пылев Е.А., Семенов Е.О. и др.* Особенности распространения и свойства засоленных коллекторов венда Чайнинского нефтегазоконденсатного месторождения // *Вести газовой науки.* 2019. № 4(41). С. 153–163.
11. *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, No. 4. P. 1605–1621. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2022.03.011>
12. *Rubo R.A., de Carvalho Carneiro C., Michelin M.F., Gioria 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. P. 106382. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106382>

13. Белозеров И.П., Губайдуллин М.Г. О концепции технологии определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов на цифровой модели керна // Записки Горного института. 2020. Т. 244. С. 402–407. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.4.2>

Информация об авторе

Дарья Андреевна Пушкарева – к.г.-м.н., старший научный сотрудник, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Москва, Россия; SPIN-код: 7141-3278, <https://orcid.org/0009-0000-0312-543X>; e-mail: D_Pushkareva@vniigaz.gazprom.ru

Поступила в редакцию 01.11.2023

NEW METHODS AND TECHNOLOGIES OF STUDYING THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF OIL AND GAS BASINS

Original article

<https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-1.art2>

The effectiveness of granulometric composition image analysis in rock thin sections for the study of terrigenous reservoir rocks

D.A. Pushkareva ✉

Gazprom VNIIGAZ LLC, Moscow, Russia

Abstract. *Background.* Image analysis of the granulometric composition in rock thin sections is an effective method that complements petrographic and sedimentation analyzes of reservoir rocks. However, due to imperfect research results and the specifics of rock structure, the application method has a number of limitations. *Objective.* The article shows the effectiveness of using image analysis for several groups of terrigenous rocks that differ in structural and mineral parameters. *Materials and methods.* The study was carried out using an optical microscope with the KERN S7 petrographic research analyzer. *Results.* The work outlines the scope and main limitations of image analysis. It also shows the need for manual adjustment of the image of certain types of rocks and control of the results using laboratory research methods. *Conclusions.* The results of the work will help to select a rational and effective complex for laboratory analysis of reservoir rocks, depending on their lithological features.

Keywords: image analysis, sedimentation analysis, microscopic studies, rock thin sections, granulometric composition, coarse-grained rocks, cementation of reservoir rocks

Funding: the work received no funding.

For citation: Pushkareva D.A. The effectiveness of granulometric composition image analysis in rock thin sections for the study of terrigenous reservoir rocks. *Actual Problems of Oil and Gas*. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 21–36. (In Russ.). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-1.art2>

✉ Daria A. Pushkareva, e-mail: D_Pushkareva@vniigaz.gazprom.ru

© Pushkareva D.A., 2024



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests.

References

1. Idrisova S.A., Tugarova M.A., Stremichev E.V., Belozarov B.V. Digital core. Integration of carbonate rocks thin section studies with results of routine core tests. *PROneft. Professionally about Oil*. 2018. No. 2(8). P. 36–41. (In Russ.). <https://doi.org/10.24887/2587-7399-2018-2-36-41>
2. Bukharev A.Y., Budenny S.A., Pachezhertsev A.A. et al. Automatic analysis of petrographic thin section images of sandstone. In: *ECMOR XVI – 16th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery*, Barcelona, Spain, 3–6 September 2018. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201802177>
3. Astashkin D.A. Some aspects of defining granulometric composition of rocks by various methods. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*. 2010. No. 5. P. 78–82. (In Russ.).
4. Shvanov V.N. *Sandy Rocks and Methods of Their Study*. Leningrad: Nedra, 1969. 248 p. (In Russ.).
5. Mikhalkina O.G. Application of the X-ray diffraction method for studying core and technogenic products. *Vesti gazovoy nauki*. 2016. No. 4(28). P. 96–107. (In Russ.).
6. Mikhalkina O.G., Semenov E.O., Pushkareva D.A. Peculiarities of studying the clay minerals of reservoir rocks. In: *Clays and Clay Minerals: Proceedings of the 6th Russian School on Clay Minerals and the 4th Russian Meeting on Clays and Clay Minerals*. Moscow: Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the RAS, 2019. P. 143–144. (In Russ.).
7. Zhukovskaya E.A., Lokhanova O.D. On the potential of digitalizing the petrography of sedimentary terrigenous rocks. In: *Exolith – 2020. Lithological Schools of Russia: Annual Meeting (Scientific Readings) Dedicated to the 215th Anniversary of the Moscow Society of Naturalists: Collected Papers*. Moscow: MAKS Press, 2020. P. 118–120. (In Russ.).
8. Alievskiy V.M., Gaidukov V.V., Yakovlev Yu.R. et al. Automation of petrographic method for identification of rock phase and granulometrical content. *Analytics and Control*. 2006. Vol. 10, No. 2. P. 144–151. (In Russ.).
9. Ryzhov A.E., Perunova T.A., Orlov D.M. Structure of the pore space of reservoir rocks of the Botuoba horizon of the Chayanda field. *Vesti gazovoy nauki*. 2011. No. 1(6). P. 162–174. (In Russ.).
10. Churikova I.V., Pylev Ye.A., Semenov Ye.O. et al. Distribution and properties of saline Vendian reservoirs belonging to Chayanda oil-gas-condensate field. *Vesti gazovoy nauki*. 2019. No. 4(41). P. 153–163. (In Russ.).
11. 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, No. 4. P. 1605–1621. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2022.03.011>
12. Rubo R.A., de Carvalho Carneiro C., Michelon M.F., Gioria 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. P. 106382. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106382>

13. Belozеров I.P., Gubaidullin M.G. Concept of technology for determining the permeability and porosity properties of terrigenous reservoirs on a digital rock sample model. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 244. P. 402–407. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.4.2>

Information about the author

Daria A. Pushkareva – Cand. Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher, Gazprom VNIIGAZ LLC, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0009-0000-0312-543X>; e-mail: D_Pushkareva@vniigaz.gazprom.ru

Received 01.11.2023