



УДК 553.9:549.02

**ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ  
КРЕМНИСТО-ГЛИНИСТЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ****FEATURES OF MINERAL COMPOSITION OF LOW-PERMEABLE  
SILICEOUS-CLAY RESERVOIR ROCKS****Ананьева Людмила геннадьевна**

кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент отделения геологии,  
Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
lga@tpu.ru

**Ильенок Сергей Сергеевич**

кандидат геолого-минералогических наук,  
ассистент отделения геологии,  
Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
llenokss@tpu.ru

**Коровкин Михаил Владимирович**

доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник,  
профессор отделения нефтегазового дела,  
профессор факультета инновационных технологий,  
Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
mvk@tpu.ru

**Максимова Юлия Анатольевна**

старший преподаватель  
отделения нефтегазового дела  
Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
yam3@tpu.ru

**Пестерев Алексей Викторович**

кандидат физико-математических наук, научный сотрудник  
испытательная научно-инновационной лаборатория  
«Буровые промывочные и тампонажные растворы»,  
Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
pesterev@tpu.ru

**Процкий Олег Николаевич**

студент отделения нефтегазового дела,  
Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
onp6@tpu.ru

**Савинова Олеся Вячеславовна**

кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент отделения геологии,  
Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
logvinenkoov@tpu.ru

**Хрущева Мария Олеговна**

аспирант,  
Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
masha2904@mail.ru

**Lyudmila Gennadyevna Ananyeva**

Candidate of Geological and  
Mineralogical Sciences,  
Associate Professor, Department of Geology,  
National Research Tomsk  
Polytechnic University  
lga@tpu.ru

**Il'enok Sergey Sergeevich**

cand. Sc., Assistant Professor School of  
Earth Sciences and Engineering,  
National Research  
Tomsk State University  
llenokss@tpu.ru

**Korovkin Michael Vladimirovich**

Dr. Sc., Professor, Senior Researcher,  
School of Earth Sciences and Engineering,  
Professor of the Faculty of  
Innovative Technologies,  
National Research  
Tomsk State University  
mvk@tpu.ru

**Maksimova Yulia Anatol'evna**

Senior Lecturer,  
School of Earth Sciences and Engineering,  
National Research  
Tomsk State University  
yam3@tpu.ru

**Pesterev Alexey Viktorovich**

Cand. Sc., Researcher,  
Innovation Research Laboratory for Drilling,  
Washing and Slurry Solutions,  
National Research  
Tomsk State University  
pesterev@tpu.ru

**Protsky Oleg Nikolaevich**

Student,  
School of Earth Sciences and Engineering,  
National Research  
Tomsk State University  
onp6@tpu.ru

**Savinova Olesya Vyacheslavovna**

Cand. Sc., Associate Professor,  
School of Earth Sciences and Engineering,  
National Research  
Tomsk State University  
logvinenkoov@tpu.ru

**Khrushcheva Maria Olegovna**

PhD, student,  
National Research  
Tomsk State University  
masha2904@mail.ru



**Аннотация.** В работе представлены результаты экспериментальных исследований состава низкопроницаемых кремнисто-глинистых пород-коллекторов, влияющие на их фильтрационно-емкостные свойства. Выявлены фрамбоиды пирита биогенного происхождения, фрагменты органического происхождения; визуализировано распределение глинистых и кремнистых минералов. Отмечено, что методами рентгеновской дифракции и инфракрасной спектроскопии, возможно выделение кристаллической фазы кремнезёма, являющейся минералогическим индикатором их повышенной газонасыщенности и проницаемости.

**Ключевые слова:** породы-коллектора, фильтрационно-емкостные свойства, полиморфные модификации  $\text{SiO}_2$ , инфракрасная спектроскопия, рентгено-структурный анализ.

**Annotation.** The paper presents the results of experimental studies of the composition of low-permeable siliceous-clay reservoir rocks that affect their filtration and capacitance properties. Pyrite framboids of biogenic origin and fragments of organic origin were identified; the distribution of clay and siliceous minerals was visualized. It is noted that crystalline phase of silica can be identified by X-ray diffraction and infrared spectroscopy that is a mineralogical indicator of reservoir's gas saturation and permeability increase in reservoir.

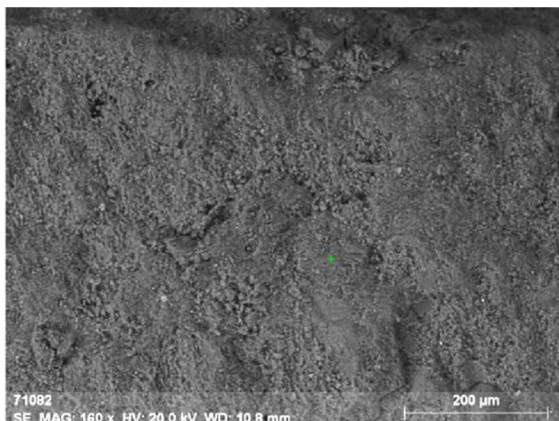
**Keywords:** reservoirs, polymorphic modifications of  $\text{SiO}_2$ , X-ray diffraction, Infrared spectroscopy.

Интерес к изучению нетрадиционных коллекторов обусловлен современными вызовами нефтегазопромышленного комплекса, связанными с поиском новых источников и эффективности добычи углеводородного сырья. В настоящее время отмечается повышенное внимание к проблеме исследования трудноизвлекаемых запасов углеводородов, выявления нетрадиционных (в том числе, низкопроницаемых) коллекторов с точки зрения оценки их перспективности вовлечения в разработку.

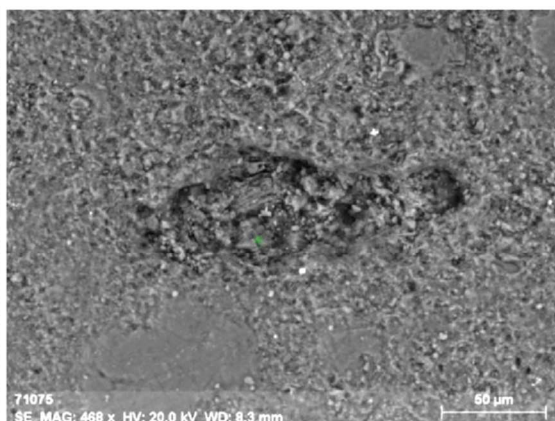
Хорошо известно, что свойства пород-коллекторов нефти и газа в значительной степени зависят от их минерального состава. Так, глинистые минералы влияют на формирование структуры пустотного пространства и изменение фильтрационно-емкостных свойств пласта в процессе нефтедобычи. С появлением современных физических методов исследования стало возможным успешное определение глинистых минералов с помощью рентгеновской дифракции, сканирующей электронной микроскопии, инфракрасной спектроскопии [1, 2]. Тонкозернистые низкопроницаемые кремнисто-глинистые минералы определяют фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов преимущественно газовых месторождений. В последние годы в научной литературе стало проявляться повышенное внимание к фазовым модификациям кремнезёма, аморфным и кристаллическим, в связи с особенностями их образования и влияния на структуру порового пространства пород-коллекторов нефти и газа [3, 4]. Структура порового пространства зависит от степени перекристаллизации исходного кремнистого вещества: чем больше кварцевая составляющая в пласте, тем меньше доля мезопор и выше газонасыщенность. Доля различных фаз модификаций кремнезёма, существенно меняющихся по разрезу, служит основанием для выделения пластов, что, в свою очередь, является литолого-минералогическим и промыслово-геологическим критерием выявления продуктивных зон в нетрадиционных коллекторах нефти и газа.

Нами исследовались образцы, отобранные из керна скважин Медвежьего месторождения. Проницаемость по газу исследуемых образцов составляла от 4,009 до 5,886 mD. Исследования минерального состава образцов проводились методами рентгеновского структурного анализа (XRD) на дифрактометре XPert PRO в лаборатории Центра коллективного пользования «Аналитического центра геохимии природных систем» Томского государственного университета; инфракрасной спектроскопии, регистрация спектров инфракрасного поглощения проводились на спектрофотометре IR Prestige-21 фирмы «Shimadzu» с преобразованием Фурье (FTIR-8400S) в интервале  $400 \dots 4000 \text{ см}^{-1}$  с разрешением  $0,01 \text{ см}^{-1}$  (FT-IR), с использованием программного обеспечения IRsolution; визуализация поверхности образцов и их элементный состав исследовался на сканирующем электронном микроскопе Hitachi 3400N (с разрешением 3 нм) с энергодисперсионным преобразователем EDx Bruker в Томском политехническом университете.

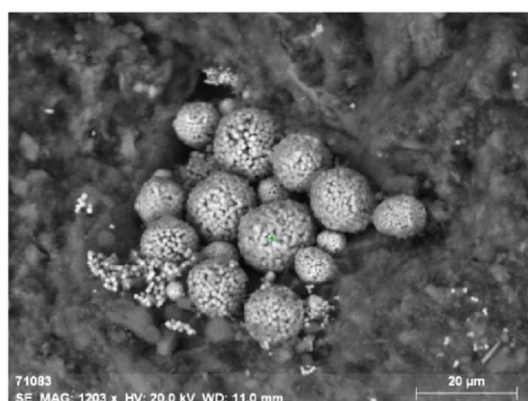
Образцы кремнисто-глинистых пород-коллекторов Медвежьего месторождения представляют собой тонкозернистую породу (рис. 1) на поверхности которой визуальнo не выделяются крупные поровые каналы или отчётливо наблюдаемые пустоты. При исследовании на сканирующем электронном микроскопе обнаруживаются мелкие поры, заполненные каолинитом и кварцем (рис. 2), а также отдельные зёрна монтмориллонита (рис. 5), что подтверждается результатами исследований методами XRD и FT-IR. Также в породах встречаются многочисленные фрамбоиды пирита, представляющие собой сферические агрегаты (рис. 3, 4), которые часто встречаются в осадочных толщах. Фрамбоидальный пирит ( $\text{FeS}_2$ ) является аутигенным раннедиагенетическим биоминералом, характерным для восстановительной зоны диагенеза. Развитие фрамбоидов пирита и их скоплений приурочено, главным образом, к зонам осадков с высоким содержанием биогенных компонентов [5]. Это является принципиальным фактом для оценки условий образования и преобразования пород-коллекторов Медвежьего месторождения.



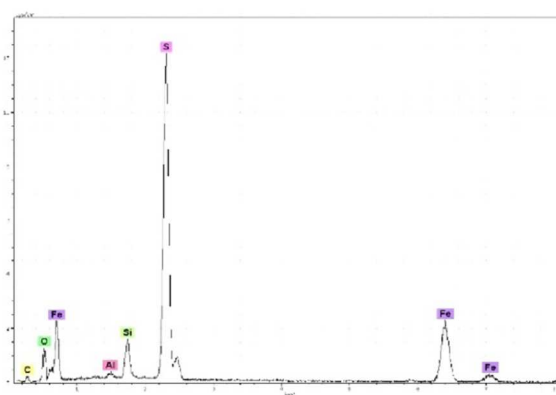
**Рисунок 1** – Поверхность образца кремнисто-глинистой породы-коллектора



**Рисунок 2** – Мелкая пора, заполненная каолинитом и кварцем

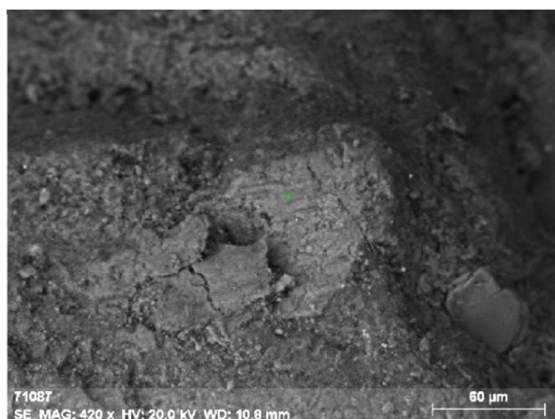


**Рисунок 3** – Фрамбоиды пирита сферической формы, сложноорганизованные агрегаты кристаллитов различного размера



**Рисунок 4** – Элементный состав кристаллитов пирита

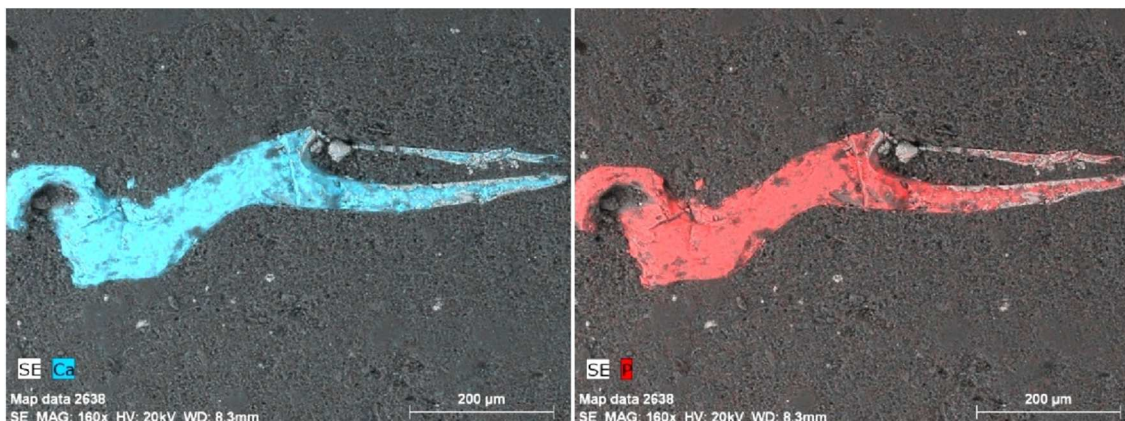
Биогенное происхождение данных осадочных пород подтверждается встречающимися остатками органического материала: раковин, моллюсков и др. (рис. 6–8.). В процессе исследований нами был обнаружен фрагмент, который, предположительно, может быть классифицирован как конодонтоноситель (классификация: тип Хордовые; класс Конодонты (Conodonti); средний кембрий-ранний триас). Как правило, отпечатки мягких тканей целого конодонтоносителя не встречаются, есть только реконструкции животного. Обычно остаются только зубы – конодонты, их состав слоистый апатит, что отчётливо отражается на снимках сканирующего микроскопа.



**Рисунок 5** – Зерно монтмориллонита в структуре кремнисто-глинистой породы-коллектора



**Рисунок 6** – Фрагмент материала органического происхождения, состоящего преимущественно из апатита



**Рисунок 7** – Распределение фосфора во фрагменте

**Рисунок 8** – Распределение кальция во фрагменте

Особое внимание нами уделено определению кристаллических фаз кремнезёма методами рентгеновской дифракции и инфракрасной спектроскопии [6, 7].

В процессе литификации кремниевого биогенного материала трансформация его структуры сопровождается изменением вещественного состава за счет последовательных реакций растворения-осаждения-перекристаллизации и полиморфных переходов кремнезема: опал-А (аморфный кремнезём) в опал-С (низкотемпературный кристаллический кристобалит), и в опал-СТ (опал-кристобалит-тридимит, так называемую ОКТ-фазу – метастабильную форму кремнезема), а по мере более глубоких преобразований – в кристаллическую фазу (кристобалит, тридимит, кварц) [8]. Поскольку кристаллическая фаза кремнезёма по сравнению с аморфной, занимает меньший объём, то, как следствие, вызывает в пласте появление дополнительного пустотного пространства и повышение газонасыщенности. Таким образом, появление кристаллической фазы (кварца, тридимита и кристобалита) из аморфной (опала) характеризуется повышенной степенью кристалличности кремнисто-глинистых пород-коллекторов и является минералогическим индикатором их повышенной газонасыщенности и проницаемости [9].

Выявление особенностей минерального состава низкопроницаемых пород-коллекторов, влияющих на их фильтрационно-емкостные свойства, позволяет оценить перспективность их вовлечения в разработку месторождения, а также будет способствовать решению главной проблемы, возникающей при эксплуатации преобладающего количества залежей нефтяных и газовых месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции: расхождению проектных и фактических показателей разработки.

#### Литература:

1. Vu Cong Khang, Korovkin M.V., Ananyeva L.G. Identification of clay minerals in reservoir rocks by FTIR spectroscopy // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 43 (2016) 012004 doi:10.1088/1755-1315/43/1/012004
2. Шатова М.Н., Коровкин М.В. Определение минерального состава палеозойских отложений нефтегазоконденсатного месторождения методом инфракрасной спектроскопии // Булатовские чтения. Материалы I Международной научно-практической конференции. Сборник статей в 5-ти томах / Под общей редакцией О.В. Савенков. – Краснодар, 2017. – С. 308–312.
3. Дорошенко А.А., Карымова Я.О. Характеристика пустотного пространства опок сенонских отложений севера Западной Сибири // Нефть, Газ. Экспозиция. – 2017. – № 6 (59). – С. 23–27.
4. Литолого-минералогические и промыслово-геологические критерии выделения продуктивных зон в сенонских отложениях / Д.Я. Хабибуллин [и др.] // Геология и разработка месторождений. – 2018. – № 8. – С. 18–25.
5. Рейхард Л.Е. Фрамбонды пирита в донных осадках Белого моря // Федоровская сессия, 2014. – С. 62–64.
6. Calculation of quartzite crystallinity index by infrared absorption spectrum / O.S. Razva [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2014. – Vol. 21. – P. 1–4.
7. Assessment of quartz materials crystallinity by x-ray diffraction / M.V. Korovkin [et al.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – № 110. – P. 12–95.
8. Ильичева О.М., Наумкина Н.И., Лыгина Т.З. Фазовое и структурное разнообразие осадочных кремнистых пород как основа оценки их качества // Разведка и охрана недр. – 2012. – № 5. – С. 5.
9. Лазнам З.А.С., Ким В.А. Опал-кристобалит-тридимитовая фаза как индикатор пустотного пространства пород-коллекторов // Труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Том I / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – С. 88–89.

**References:**

1. Vu Cong Khang, Korovkin M.V., Ananyeva L.G. Identification of clay minerals in reservoir rocks by FTIR spectroscopy // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 43 (2016) 012004 doi:10.1088/1755-1315/43/1/012004
2. Shatova M.N., Korovkin M.V. Determination of mineral composition of Paleozoic deposits of oil-gas-condensate field by infrared spectroscopy // Bulatov readings. Materials of the International Scientific-Practical Conference. Collection of articles in 5 volumes / Edited by O.V. Saveenok. – Krasnodar, 2017. – P. 308–312.
3. Doroshenko A.A., Karymova Y.O. Characteristics of the hollow space of the Senonian sediments of the northern West Siberia // Oil, Gas. Exposition. – 2017. – № 6 (59). – P. 23–27.
4. Lithological-mineralogical and field-geological criteria for the allocation of productive zones in the Senonian sediments / D.Y. Khabibullin [et al.] // Geology and field development. – 2018. – № 8. – P. 18–25.
5. Reikhard L.E. Framboids of pyrite in the bottom sediments of the White Sea // Fedorovsky Session, 2014. – P. 62–64.
6. Calculation of quartzite crystallinity index by infrared absorption spectrum / O.S. Razva [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2014. – Vol. 21. – P. 1–4.
7. Assessment of quartz materials crystallinity by x-ray diffraction / M.V. Korovkin [et al.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – № 110. – P. 12–95.
8. Ilyicheva O.M., Naumkina N.I., Lygina T.Z. Phase and structural diversity of sedimentary siliceous rocks as a basis for their quality assessment // Exploration and Subsoil Protection. – 2012. – № 5. – P. 5.
9. Laznam Z.A., Kim V.A. Opal-crystallite-tridimite phase as an indicator of void space of reservoir rocks // Proceedings of the XXIV International Symposium of Academician M.A. Usov students and young scientists, dedicated to the 75th anniversary of Victory in the Great Patriotic War. Vol. I / Tomsk Polytechnic University. – Tomsk : Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2020. – P. 88–89.