

Типизация глинисто-кремнистых отложений березовской свиты (на примере скважин Харампурского месторождения)

Е. С. Климова, К. Н. Чертина, М. А. Александров,
А. В. Соловьёва, Н. Н. Аржиловская

ООО “Тюменский нефтяной научный центр”, 625048, г. Тюмень, ул. Максима Горького, 42,
e-mails: esklimova@tnc.rosneft.ru, knchertina@tnc.rosneft.ru, maaleksandrov@tnc.rosneft.ru,
avsolovyova@tnc.rosneft.ru, nnarzhilovskaya@tnc.rosneft.ru

В редакцию поступила 23.08.2022 г., принята к печати 13.01.2023 г.

Объект исследования. Глинисто-кремнистые отложения березовской свиты коньяк-сантон-кампанского возраста трех скважин Харампурского месторождения. **Цель работы** – изучение минеральных и структурных характеристик кремневой матрицы для разделения кремневых пород на литотипы, а именно на силициты и собственно опоки. **Методы.** Наиболее эффективными видами исследований для достижения данной цели стали рентгеноструктурный анализ и растровая электронная микроскопия. **Результаты и выводы.** Основными критериями для разделения кремневых пород на литотипы являются содержание опал-кристобалит-тридимитовой фазы и ее структурное состояние, которое количественно характеризуется коэффициентом степени структурного совершенства К (по данным рентгеноструктурного анализа) и на качественном уровне подтверждается различием ее морфологических типов (по данным растровой электронной микроскопии). Также установлена взаимосвязь пористости кремневых пород с микроструктурой кремневой матрицы.

Ключевые слова: березовская свита, опока, кремневые породы, свободный кремнезем, ОКТ-фаза, степень структурного совершенства, леписферы

Typification of clay-siliceous deposits of the Berezovskaya formation (on the example of wells of the Kharampurskoye field)

Evgenia S. Klimova, Kseniya N. Chertina, Maksim A. Alexandrov,
Anna V. Solovieva, Natalya N. Arzhilovskaya

ООО “Tyumen Oil Research Center”, 42 Maxim Gorky st., Tyumen 625048, Russia,
e-mails: esklimova@tnc.rosneft.ru, knchertina@tnc.rosneft.ru, maaleksandrov@tnc.rosneft.ru,
avsolovyova@tnc.rosneft.ru, nnarzhilovskaya@tnc.rosneft.ru

Received 23.08.2022, accepted 13.01.2023

Research subject. Clay-siliceous deposits of the Berezovskaya formation of the Cognac-Santon-Campanian age in three wells of the Kharampur deposit. **Aim.** To study the mineral and structural characteristics of the flint matrix for the separation of flint rocks into lithotypes, namely, silicites and flakes per se. **Methods.** X-ray diffraction analysis and scanning electron microscopy. **Results and conclusions.** The main criteria for the separation of flint rocks include the content of the opal-cristobalite-tridimite phase and its structural state, which is quantitatively characterized by the coefficient of structural perfection K (according to the X-ray diffraction) and, at the qualitative level, is confirmed by the difference in its morphological types (according to the scanning electron microscopy). The relationship between the porosity of flint rocks and the silicon matrix microstructure was also established.

Keywords: Berezovskaya formation, flask, high flint rocks, free silica, OCT phase, degree of structural perfection, lepispheres

Для цитирования: Климова Е.С., Чертина К.Н., Александров М.А., Соловьёва А.В., Аржиловская Н.Н. (2023) Типизация глинисто-кремнистых отложений березовской свиты (на примере скважин Харампурского месторождения). *Литосфера*, 23(2), 197-208. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-2-197-208>

For citation: Klimova E.S., Chertina K.N., Alexandrov M.A., Solovieva A.V., Arzhilovskaya N.N. (2023) Typification of clay-siliceous deposits of the Berezovskaya formation (on the example of wells of the Kharampurskoye field). *Lithosphere (Russia)*, 23(2), 197-208. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-2-197-208>

© Е.С. Климова, К.Н. Чертина, М.А. Александров, А.В. Соловьёва, Н.Н. Аржиловская, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивная добыча газа сеноманских залежей Западной Сибири естественным образом приводит к уменьшению его запасов. На сегодняшний день запасы надсеноманского резервуара рассматриваются как дополнительное, а в перспективе и основное хранилище природного газа. Запасы газа экспертно оцениваются в объеме 35–60% от запасов газа в подстилающих сеноманских отложениях (Черепанов и др., 2014, 2015; Пережогин и др., 2016). Нетрадиционные для Западной Сибири глинисто-кремнистые коллекторы надсеноманской части разреза верхнего мела (коньяк-сантон-кампан) относятся к категории трудноизвлекаемых и требуют нестандартных подходов к изучению особенностей слагающих пород. Поэтому детальное изучение минералогических и структурных особенностей пород-коллекторов данной части разреза представляет собой актуальную задачу.

Объектом исследования являются породы пластов березовской свиты коньяк-сантон-кампанского возраста (рис. 1б) трех скважин Харампурского месторождения Пур-Тазовского региона Западно-Сибирской платформы. В тектоническом отношении месторождение расположено в пределах антиклинальной структуры II порядка – Харампурского малого вала – и непосредственно приурочено к Южно-Харампурскому и Северо-Харампурскому локальным поднятиям (см. рис. 1а).

Результаты системного и комплексного изучения пород березовской свиты на территории Западно-Сибирской плиты свидетельствуют о преобладании биогенно-хемогенного (Кудаманов и др., 2019) и в подчиненном отношении терригенного осадконакопления. В строении свиты прослеживаются следующие закономерности: верхнеберезовская подсвита представлена в верхней части (пласты ВВ0 и ВВ1) терригенным разрезом: алевролитами глинистыми, глинами алевролитистыми, в нижней части (пласт ВВ2) – преимущественно автохтонными кремнистыми глинами (Кудаманов и др., 2018; Глухов и др., 2021; Дистанова и др., 2022). Нижнеберезовская подсвита сложена биогенно-хемогенными породами с преобладанием силицитов, в различной степени глинистых, опок, а также кремнистых глин (см. рис. 1б).

В данной работе рассматриваются глинисто-кремнистые породы пластов ВВ2, НВ1, НВ2, НВ3 и НВ4, обладающие коллекторским потенциалом. К глинисто-кремнистым отложениям березовской свиты относятся породы с содержанием свободного кремнезема более 5–10 мас. %. Под содержанием свободного кремнезема подразумевается суммарное содержание его различных полиморфных модификаций: аморфного опала, скрытокристаллических кристобалита, тридимита, которые чаще определяются как плохо разделяемая опал-

кристобалит-тридимитовая (ОКТ) фаза, волокнистого халцедона, скрытокристаллического аутигенного кварца, частично раскристаллизованного в литогенезе (Рухин, 1961). Если диагностика обломочных и преимущественно глинистых пород не составляет труда, то разделение кремневых пород на литотипы имеет ряд неопределенностей, поэтому в работе сделан упор на изучение минерального и структурного состояния кремневой матрицы в породах березовской свиты. Цель данной работы – изучение морфологических особенностей кремнезема для разделения кремневых пород на силициты и опоки.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глинисто-кремнистые породы березовской свиты не представляется возможным различать с помощью поляризационного микроскопа даже при максимальных увеличениях (от $\times 400$ до $\times 1000$) из-за преобладания скрытокристаллических структур (рис. 2а). Поэтому прибегают к помощи таких минералогических исследований, как рентгеноструктурный анализ (РСА) и растровая электронная микроскопия (РЭМ) (рис. 2б).

РСА позволяет выполнить количественную оценку породообразующих компонентов, а также разделить свободный кремнезем на рентгеноаморфную и кристаллическую фазы.

Исследования валового минерального состава и состава глин методом РСА выполнялись на рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV с геометрией Брэгга–Брентано. При проведении анализа использовалось $\text{CuK}\alpha$ -излучение, напряжение на трубке 40 кВ, сила тока 30 мА. Съемка проводилась по точкам, максимальный угловой диапазон сканирования от 3 до 65° , шаг сканирования 0.02° по 2 Тета, экспозиция 1 с. Общий минеральный состав определялся по порошковой пробе, приготовленной на шаровой мельнице XRD-Mill McCrone с размолевой гарнитурой из корунда (Михалкина, 2016). Идентификация и количественное определение веществ выполнялись в программном комплексе PDXL 2 с использованием эталонных дифрактограмм индивидуальных соединений, содержащихся в международной базе дифракционных стандартов ICDD PDF-2 Release 2015, а также кристаллографической базы данных для минералов и их структурных аналогов WWW-МИНКРИСТ.

В структурном отношении ОКТ-фазу принято представлять как неразделимую смесь аморфных и скрытокристаллических модификаций кремнезема и оценивать их суммарное содержание (Фролов, 1992). Согласно гипотезе “вызревания”, на стадии диагенеза происходит трансформация кремневого осадка в виде постепенной раскристаллизации аморфного кремнезема (опала) в кристобалит-тридимитовые разности (Справочник по литоло-

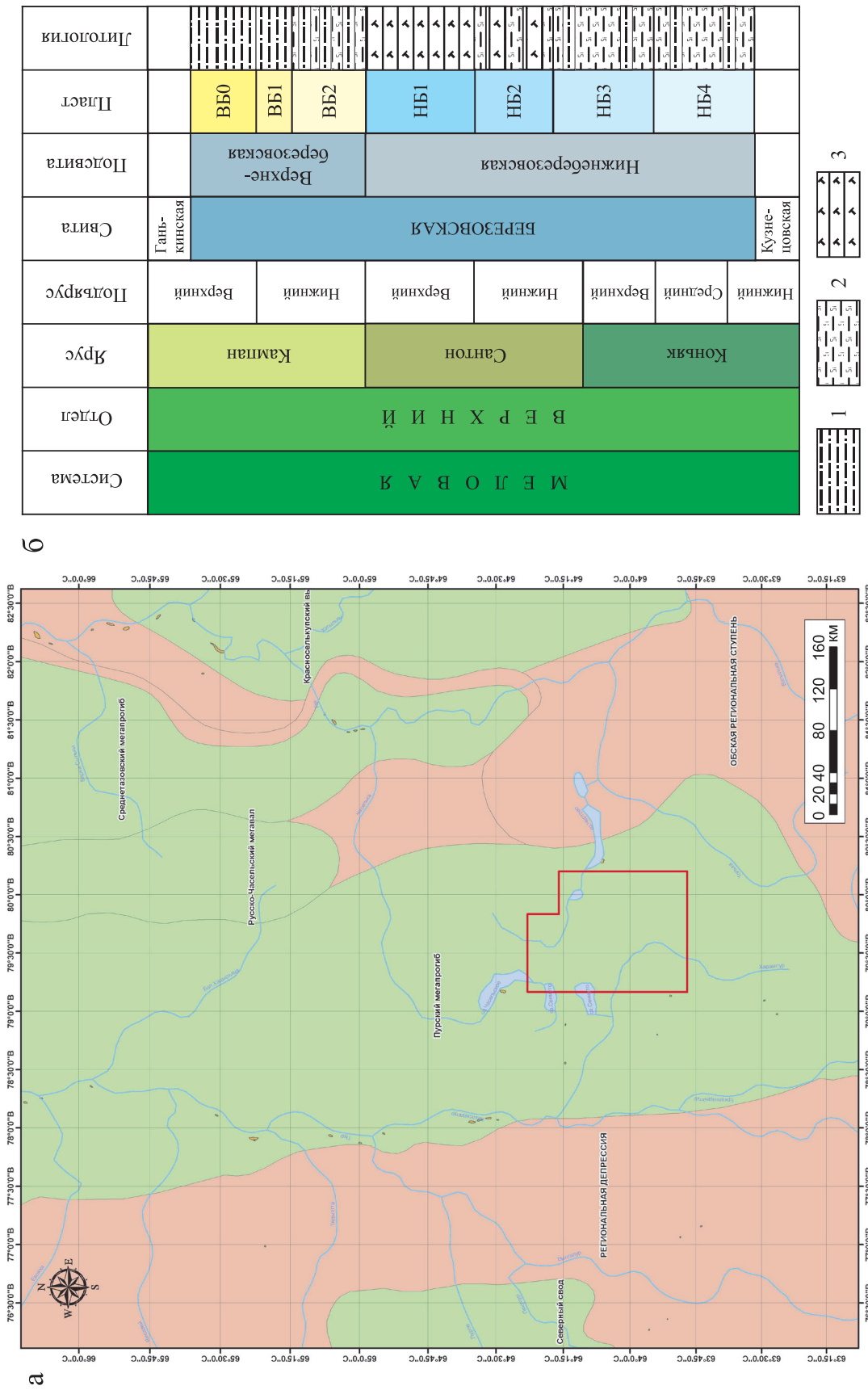


Рис. 1. Фрагмент тектонической карты юго-восточной части Западно-Сибирской платформы с лицензионными границами Харампурского месторождения (а) и фрагмент стратиграфической шкалы березовской свиты верхнего мела (б).
 1 – алевролиты глинистые/глины алевролитистые, 2 – силициты, 3 – опоки.

Fig. 1. Fragment of the tectonic map of the southeastern part of the West Siberian Platform with the license boundaries of the Kharampurskoye field (a) and fragment of the stratigraphic scale of the Berezovskaya formation of the Upper Cretaceous (b).

1 – clayey siltstones/silty clays, 2 – silicities, 3 – flakes.

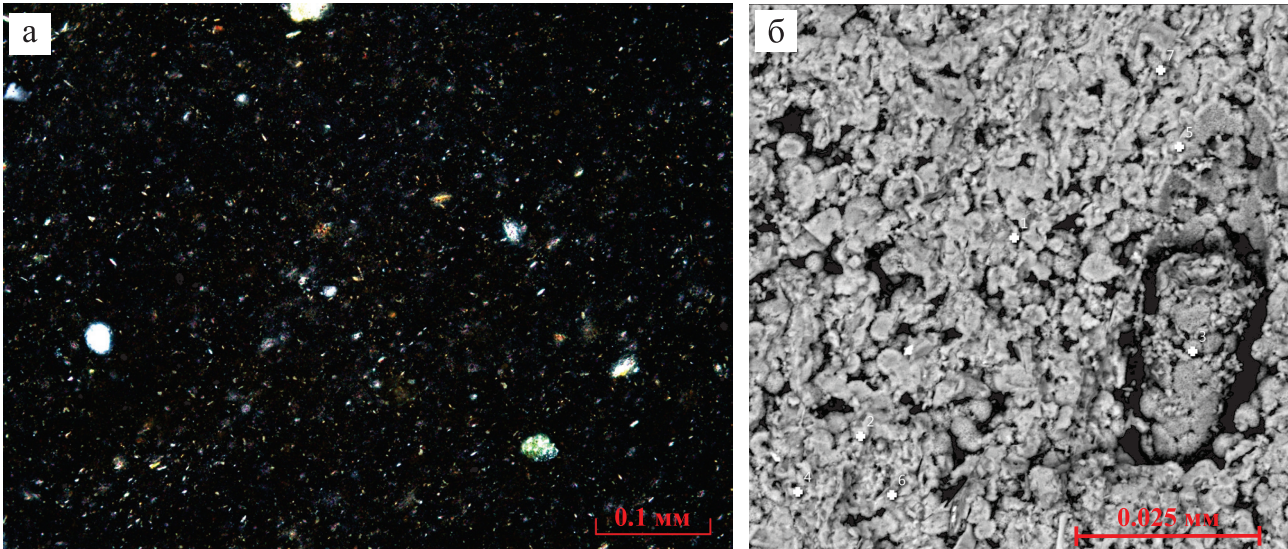


Рис. 2. Скрытокристаллическая структура полуйзотропной кремневой матрицы в поляризационном микроскопе в скрещенных николях при $\times 200$ (а) и глобулярная микроструктура кремневой матрицы в растровом электронном микроскопе при $\times 1500$ (б).

Fig. 2. Cryptocrystalline structure of a semi-isotropic silicon matrix in a polarizing microscope in crossed nichols at $\times 200$ magnification (a) and globular microstructure of a silicon matrix in a scanning electron microscope at $\times 1500$ magnification (б).

гии, 1983). Таким образом, структура ОКТ-фазы может иметь разные морфологические типы. Для понимания различий в структуре ОКТ-фазы необходимо определить соотношение ее аморфной и кристаллической составляющих, другими словами, степень ее структурного совершенства (или степень структурной упорядоченности).

При изучении полиморфных модификаций кремнезема И.И. Плюсниной (1983) было предложено использовать коэффициент К (степень структурного совершенства/степень структурной упорядоченности), рассчитываемый по формуле: $K = \frac{10c}{d}$, где c – ширина основного кристобалитового пика 4.13–4.06 Å на уровне 2/3 его интенсивности, d – интенсивность характеристического пика. Данный коэффициент количественно характеризует степень структурного совершенства ОКТ-фазы.

Следующим, не менее значимым, методом диагностики кремневой составляющей является метод РЭМ, который позволяет изучить кремневую матрицу с преобладанием ОКТ-фазы с точки зрения ее морфологических особенностей и особенностей пустотного пространства. Пробоподготовка проводилась по следующей схеме: предварительно проэкстрагированный образец горной породы с помощью электропроводящего клея приклеивали на подложку, помещали в вакуумный пост, где происходило напыление на поверхность образца углеродной пленки, необходимой для снятия поверх-

ностных электрических зарядов. После напыления подложки с образцами помещали в камеру растрового электронного микроскопа, где создавался поверхностный “дубликат” рельефа образца. Анализ проводился при увеличении от 1500 до 5000.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе РСА пород трех скважин (табл. 1) установлено, что породы с содержанием породообразующего кремнезема (ОКТ-фазы) более 10 мас. % сосредоточены в основном в пластах нижнеберезовской подсвиты (НБ1, НБ2, НБ3, редко в НБ4), незначительно присутствуют в подошве верхнеберезовской подсвиты (пласт ВБ2).

По результатам рентгеноструктурных исследований выделено три типа ОКТ-фазы с разной степенью структурного совершенства (рис. 3). Разделение на типы фиксировалось на дифрактограммах по соотношению высоты характеристических пиков ОКТ-фазы и кварца. Пониженные значения коэффициента структурного совершенства К свидетельствуют о более кристаллической структуре, т. е. преобладании кристобалит-тридимитовой составляющей, а высокие – о повышенном содержании аморфного опала.

По результатам исследований построен график зависимости коэффициента структурного совершенства от содержания ОКТ-фазы в пластах (рис. 4). Проанализировав взаимосвязь коэффициента структурного совершенства с содержанием

Таблица 1. Среднее содержание минеральных компонентов по пластам в скважинах Харампурского месторождения по данным РСА, мас. %

Table 1. The average content of mineral components data on formations in the wells of the Kharampurskoye field according to the RSA, wt %

Скважина	Пласт	Сумма кварца и полевых шпатов (Q + ПШ)	ОКТ-фаза	Сумма глин	Глауко-нит	Пирит	Кальцит	Сидерит	Цеолит	Ангидрит/доломит
Харампурская скв. 1	ВБ2	34.3	12.5	42.1	7.1	2.5	0.8	0.9	0.0	0.0
	НБ1	24.7	57.1 (33–74.4)*	11.6 (5.1–22.8)	4.2 (1–9)	1.9 (0–5.2)	0.0	0.4 (0–1.3)	0.0	0.0
	НБ2	28.6	47.4 (25.7–60.1)	14.4 (10.5–18.8)	4.6 (2.5–10.2)	0.8 1.8–2.3	0.0	2.1 (0–4)	2.1 (0–10.6)	0.0
	НБ3	48.5	20.8	10.6	4.4	3.2	0.0	2.8	9.7	0.0
	НБ4	51.5	0.0	21.6	7.0	4.8	1.6	4.9	7.3	1.3
Харампурская скв. 2	ВБ2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	НБ1	15.9	70.8 (61.9–78.8)	8.2 5.6–10.4	4 1.8–5.2	1 0–1.7	0.0	0.2 0–0.9	0.0	0.0
	НБ2	29.7	38.9 (24.2–55.7)	17.3 (8–27.2)	6 (4–13.4)	2.8 (1–8.8)	0.0	2.5 (0–5.1)	2.8 (0–9.2)	0.0
	НБ3	45.0	20.5	15.6	5.2	2.6	0.0	3.4	7.9	0.0
	НБ4	42.6	18.2	21.3	3.7	2.3	0.4	3.4	8.2	0.0
Харампурская скв. 3	ВБ2	32.8	22.8 (12.7–35.3)	29.9 (20–40.3)	7.8 (4.8–10.5)	3.4	0.0	3.3		0.0
	НБ1	21.0	53.4 (24.2–67.1)	16.1 (11.6–30.1)	6.2 (0–10)	2.8 (0–4.6)	0.0	0.0	0.0	0.0
	НБ2	28.0	31.9 (10.8–45.3)	25.1 (7.7–32.2)	9.3 (6–13.3)	4.3 (2.4–8.3)	0.0	0.5 (0–5.2)	0.8 (0–10)	0.0
	НБ3	32.1	18.5	22.3	7.7	4.2	0.0	4.9	10.3	0.0
	НБ4	53.4	0.0	32.8	3.2	3.9	0.0	2.9	3.8	0.0

Примечание. *В скобках указаны граничные значения содержания минерального компонента.

Note. *The boundary values of the OCT phase content are indicated in parentheses.

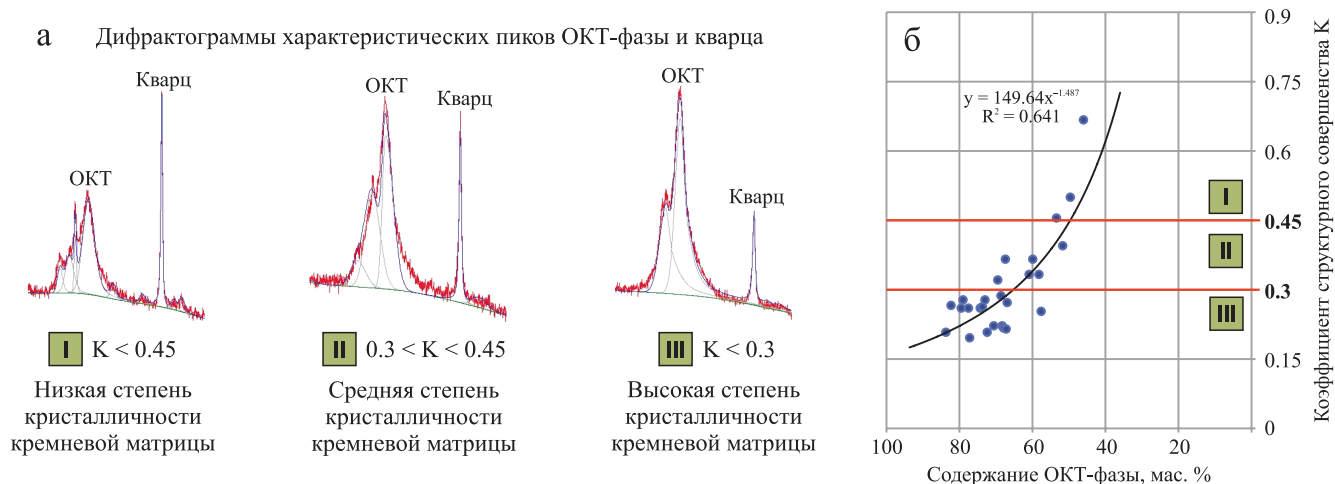


Рис. 3. Дифрактограммы рентгеноструктурных исследований для различных типов ОКТ-фазы (а) и график зависимости коэффициента структурного совершенства от содержания ОКТ-фазы (б).

Fig. 3. Diffractograms of X-ray diffraction studies for various types of OCT phase (a) and graph of the dependence of the structural perfection coefficient on the content of the OCT phase (b).

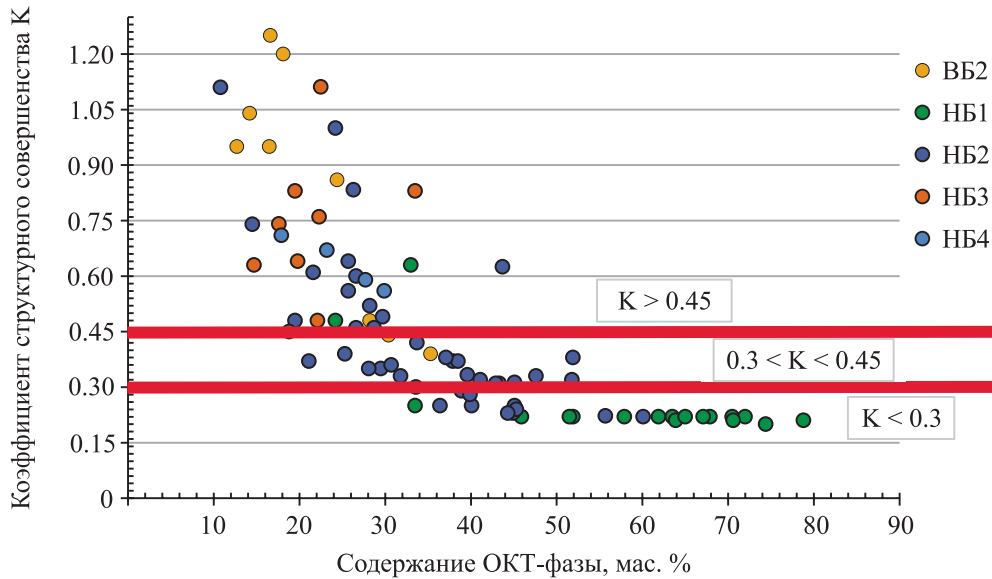


Рис. 4. Взаимосвязь коэффициента структурного совершенства и содержания ОКТ-фазы по пластам.

Fig. 4. Relationship of the structural perfection coefficient and the OCT phase content across the layers.

ОКТ-фазы, можно сделать следующие выводы: 1) породы с ОКТ-фазой сильно разнятся по ее структурному совершенству; 2) породы с повышенным содержанием ОКТ-фазы (более 45–50 мас. %) отличаются более высоким ее структурным совершенством и сконцентрированы в пласте НБ1, незначительно в НБ2 (в верхах); 3) породы со средними значениями ОКТ-фазы (примерный диапазон 30–50 мас. %) и средней степенью структурной упорядоченности отмечаются преимущественно в пласте НБ2, очень редко в НБ3 и ВБ2; 4) диапазон с низким содержанием в породах ОКТ-фазы (30 мас. % и менее) и низкими значениями структурного совершенства фиксируется в пластах ВБ2, НБ3 и НБ4.

В растровом электронном микроскопе кремневые породы со структурным коэффициентом менее 0.3 имеют преимущественно леписферовую (глобулярную, “ёжиковую”) микроструктуру матрицы. Леписферы – глобулы с неоднородным строением, состоят из внутреннего опалового ядра и внешней оторочки, образованной сплошной системой ребристых, пластинчатых кристаллов кристобалита, тримита (Муравьев, 1975). Размер леписфер достигает 5–6 мкм, они образуют довольно пористый агрегат с субизометричными микропорами размером до 2.0–2.6 мкм (рис. 5д, е).

Породы со структурным коэффициентом более 0.45 сложены однонаправленно ориентированными хлопьевидными индивидами кремнезема размером до 4–5 мкм, образующими агрегат без явных кристаллографических очертаний отдельных индивидов. Форма хлопьевидных индивидов матрицы

определяет характерную щелевидную форму микропор длиной до 1.5–2.0 мкм, а плотный характер упаковки приводит к изоляции и уменьшению количества эффективных микропор (рис. 5а, б).

В переходных зонах со структурным коэффициентом $0.3 < K < 0.45$ в электронном микроскопе наблюдаются как хлопьевидные, так и леписферовые (глобулярные) формы индивидов кремнезема. Смешанная структура кремневой матрицы обуславливает присутствие щелевидных и субизометричных микропор (рис. 5в, г).

Таким образом, каждый диапазон структурного коэффициента K характеризуется определенными морфологическими особенностями кремневой матрицы. Повышенное содержание кристаллической составляющей в ОКТ-фазе определяет леписферовую структуру. В свою очередь, леписферовая структура имеет более рыхлую упаковку индивидов и характеризуется повышенным содержанием микропор.

В источниках можно встретить различные термины для кремневых пород (свободного кремнезема более 50 мас. %), их называют глинисто-кремневыми, кремнистыми породами, опоконидными силицитами или опоками, в разной степени глинистыми.

Согласно общепринятой классификации осадочных пород (Шванов и др., 1998), биогенно-хемогенные породы березовской свиты в зависимости от содержания основных породообразующих компонентов (глинистого и кремнистого) подразделяются на: глины кремнистые (с содержанием свободного кремнезема от 5 до 25 мас. %) до

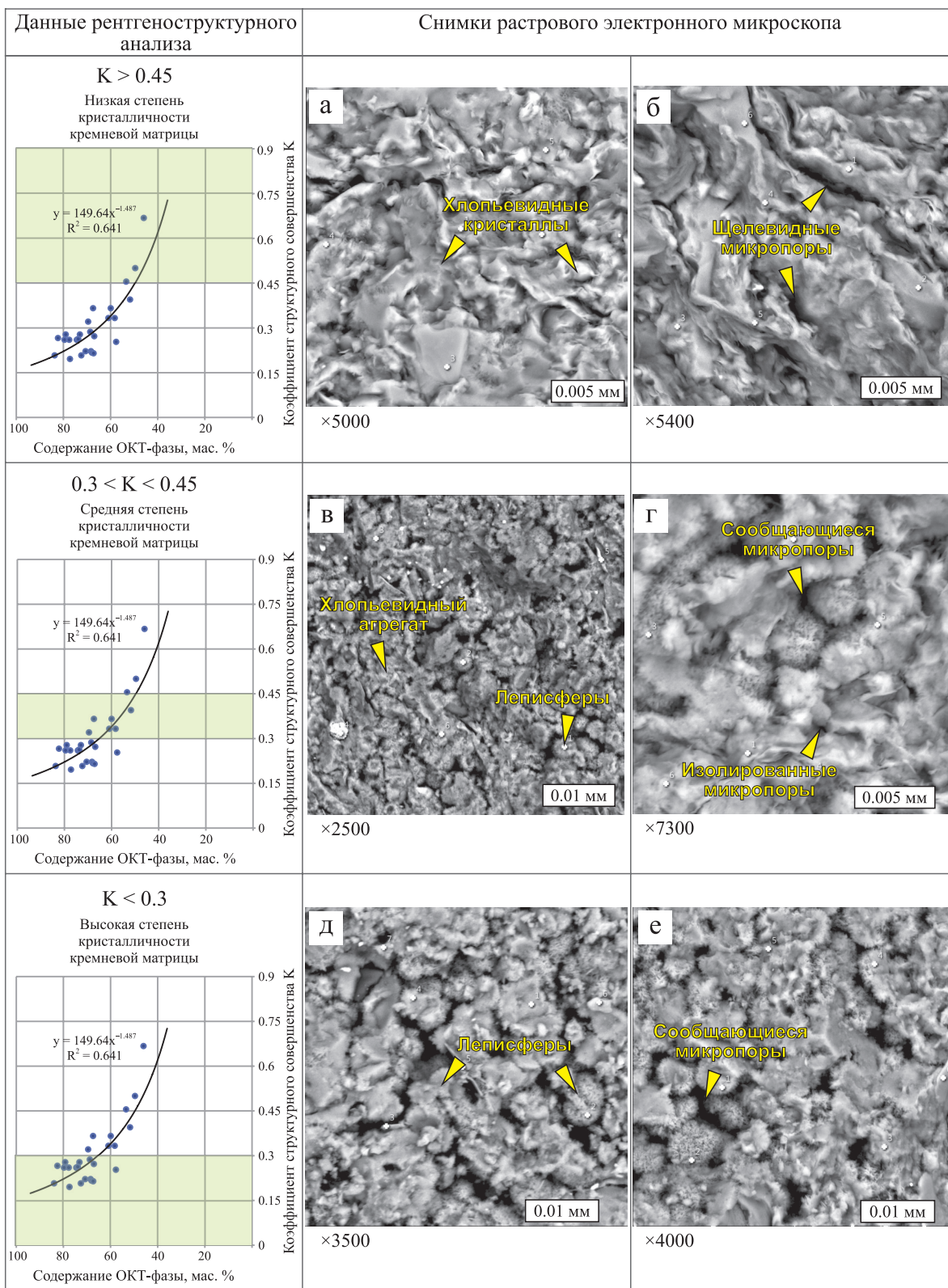


Рис. 5. Сводная таблица диапазонов коэффициента структурного совершенства (по данным РСА) и соответствующих им морфологических особенностей кремневой матрицы (данные РЭМ).

а – агрегат кремнезема преимущественно хлопьевидных форм, б – хлопьевидный микроагрегат кремнезема с изолированными щелевидными микропорами, в – агрегат кремнезема хлопьевидных и леписферовых форм, г – хлопьевидно-леписферовый агрегат кремнезема с сообщающимися и изолированными микропорами, д – агрегат кремнезема преимущественно леписферовых форм, е – леписферовый агрегат кремнезема с сообщающимися микропорами.

Fig. 5. Summary table of the ranges of the structural perfection coefficient (according to the RSA data) and the corresponding morphological features of the silicon matrix (SEM data).

a – silica aggregate of predominantly flocculent forms, б – flocculent microaggregate of silica with isolated slit-like micropores, в – silica aggregate of flocculent and lepisphere forms, г – flocculent-lepisphere silica aggregate with communicating and isolated micropores, д – silica aggregate of predominantly lepisphere forms, e – lepisphere aggregate of silica with communicating micropores.

кремневых (от 25 до 50 мас. %) и *силициты* (свободного кремнезема более 50 мас. %), в различной степени глинистые. В группу силицитов входят выделяющиеся в данных отложениях опоки, в различной степени глинистые, диагностика которых вызывает затруднения при макро- и микроописании керн в связи с их скрытокристаллическими структурами.

На текущий момент в опубликованной литературе под *опоками* понимают породы опал-кристобалитового состава абиогенной (аморфной, глобулярной, скрытокристаллической) или реликтово-биоморфной структуры, легкие, с высокой пористостью (30–40%), объемной плотностью 1.3–1.8 г/см³. К *кремневым* относят плотные породы кварц-халцедонового и, в меньшей степени, опалового состава преимущественно с крипто-, микро- и тонкокристаллической структурами, иногда с присутствием аморфной и сферолитоподобной структур (Кузнецов, 2007).

С целью разделения кремневых пород на силициты и опоки были установлены граничные диапазоны содержания ОКТ-фазы с учетом ее морфологических и плотностных характеристик.

Из имеющегося массива данных (88 образцов) по высококремневым породам пластов березовской свиты проводилась выборка образцов с обязательным наличием результатов всех исследований: петрофизических и минералогических, таких как РСА, РЭМ, фильтрационно-емкостных свойств пород, с петрографическим описанием шлифов.

На рис. 5 обозначены отличительные особенности пород по содержанию ОКТ-фазы в кремнистой матрице и степени ее структурного совершенства.

Для разделения на литотипы по данным анализов 76 образцов построены графики: зависимости объемной плотности от содержания ОКТ-фазы (рис. 6а), взаимосвязи минералогической и объемной плотности (рис. 6б) и зависимости объемной плотности от коэффициента структурного совершенства (рис. 6в).

На графике зависимости объемной плотности от содержания ОКТ-фазы (см. рис. 6а) выделяется группа образцов с содержанием ОКТ-фазы более 45 мас. % и пониженными значениями объемной плотности $P_{об}$ – менее 1.70 г/см³ и редко до 1.8 г/см³, что характерно для опок. В этой группе образцов также фиксируются пониженные значения минералогической плотности $P_{мин}$ – до 2.35 г/см³ (см. рис. 6б).

При построении зависимости объемной плотности от коэффициента структурной упорядоченности (см. рис. 6в) данная группа образцов с пониженными плотностными характеристиками и повышенными значениями ОКТ-фазы (см. рис. 6а) попадает в диапазон коэффициента структурной упорядоченности со значением менее 0.3 (см. рис. 6в).

Таким образом, “опоками” (при наличии глинистой составляющей – “опоками глинистыми”; см. рис. 6, 7) предлагаем называть кремневые породы, характеризующиеся не только повышенным содержанием ОКТ-фазы и пониженными плотностными характеристиками (объемной и минералогической плотностью), но и низкими значениями коэффициента структурной упорядоченности (ОКТ-фаза > 45 мас. %; $P_{об} < 1.70$ г/см³, редко до 1.8 г/см³; $K < 0.3$), указывающими на особенности морфологического строения кремневой матрицы, а именно на преобладание леписферовых структур.

Кремневые породы, которые не соответствуют перечисленным выше параметрам, следует называть общепринятым термином “силицит” (GEOLIB.NET. Справочник по геологии), с учетом глинистой составляющей – “силицитом глинистым” (см. рис. 6, 7), со следующими параметрами: ОКТ-фаза 15–45 мас. %, $K > 0.3$, $P_{об} > 1.8$ г/см³. Для них будет характерна смешанная хлопьевидно-леписферовая микроструктура до перехода в хлопьевидную.

В кремнистых глинах (см. рис. 7) содержание ОКТ-фазы менее 20 мас. %, $K > 0.45$, характерны повышенные плотностные значения ($P_{об} > 1.85$ г/см³) и преобладание хлопьевидных структур.

В глинисто-кремнистых породах, вскрытых разными скважинами, пограничные значения, выделенные для литотипов (табл. 2), будут незначительно варьировать в связи с присутствием и различным содержанием других компонентов: обломочной составляющей, глины, биогенных остатков, глауконита, цеолита.

При сопоставлении пористости (K_n , %) выделенных литотипов очевидно, что наилучшими коллекторскими свойствами обладают опоки (рис. 8). Значения K_n опок доходят до 35%, что обусловлено морфологией кремневой матрицы, а именно преобладанием леписферовых структур с более рыхлой упаковкой сферических индивидов (см. рис. 5д, е). Значения K_n для пород со структурным коэффициентом более 0.3, характерным для силицитов и кремнистых глин, не превышают 25–28%, что

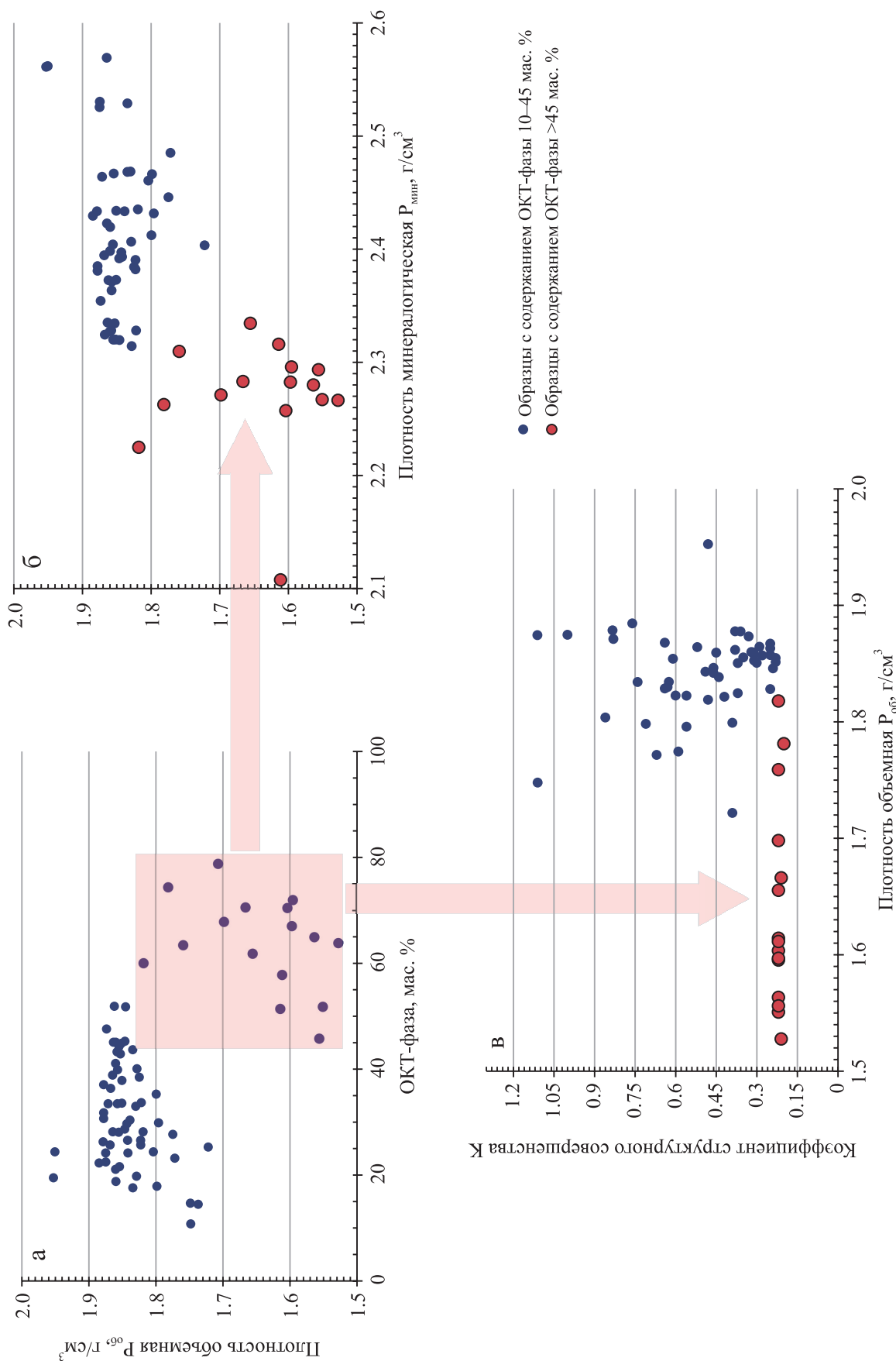


Рис. 6. Графики зависимости объемной плотности от содержания ОКТ-фазы (а), взаимосвязи объемной и минералогической плотности (б) и зависимости объемной плотности от коэффициента структурного совершенства (в).

Fig. 6. A graphs of the dependence of volume density on the content of the ОКТ phase (а), of the relationship between volume and mineralogical densities (б) and of the dependence of volume density on the coefficient of structural perfection (в).

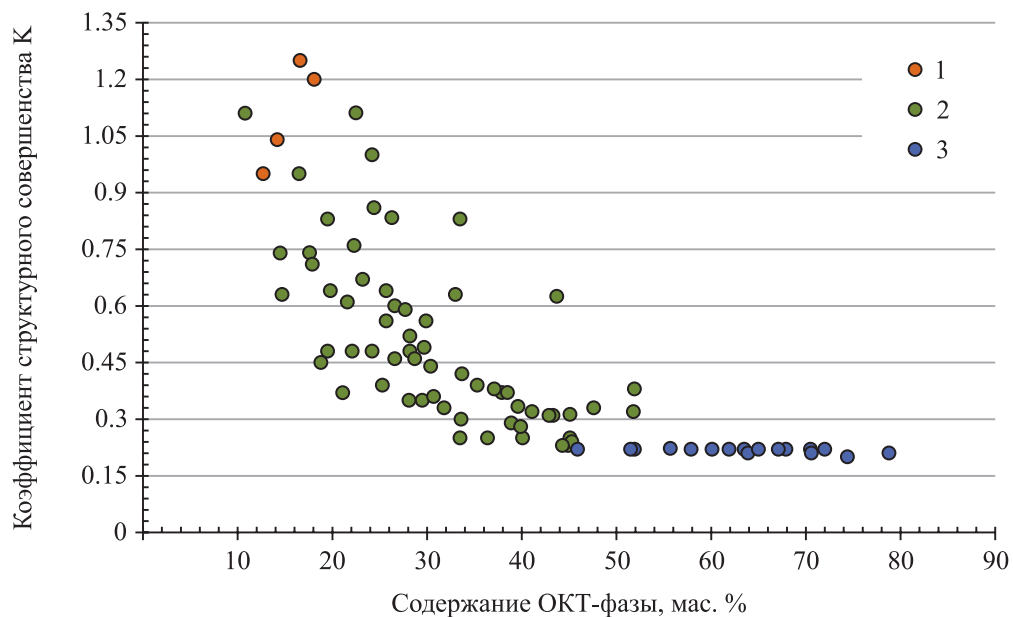


Рис. 7. Взаимосвязь коэффициента структурного совершенства и содержания ОКТ-фазы по литотипам.
1 – кремнистые глины, 2 – силициты, 3 – опоки.

Fig. 7. Relationship of structural perfection coefficient and OCT phase content by lithotypes.
1 – siliceous clays, 2 – silicites, 3 – flakes.

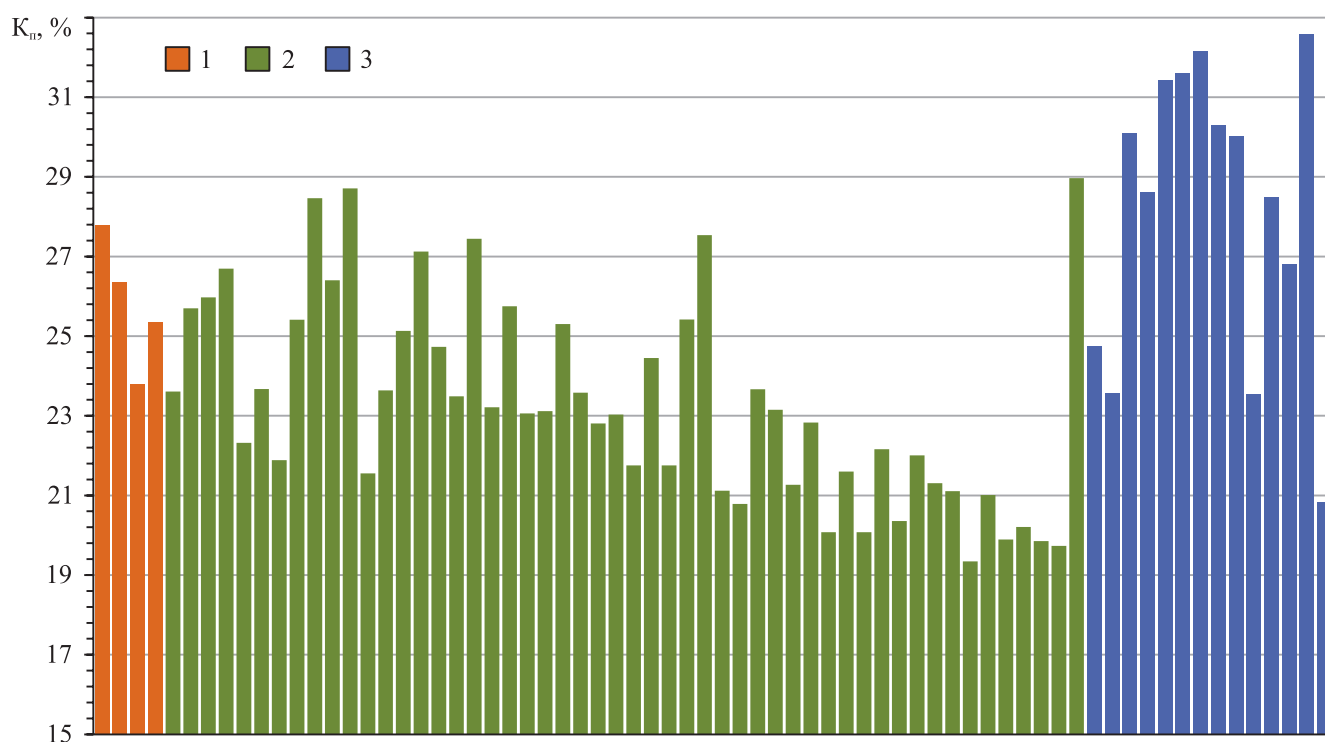


Рис. 8. Гистограмма распределения коэффициента пористости по литотипам.
1 – кремнистые глины, 2 – силициты, 3 – опоки.

Fig. 8. Histogram of porosity coefficient distribution by lithotypes.
1 – siliceous clays, 2 – silicites, 3 – flakes.

Таблица 2. Типизация глинисто-кремнистых пород Харампурского месторождения

Table 2. Typification of clay-siliceous rocks of the Kharampur deposit

Литотип	Свободный кремнезем, мас. %	ОКТ-фаза, мас. %	Коэффициент структурного совершенства К	Плотность объемная $P_{об}$, г/см ³	Плотность минералогическая $P_{мин}$, г/см ³	Морфологическая характеристика кремнистой матрицы
Опоки/ опоки глинистые	>70	>45–50	$K < 0.3$	<1.70 Редко до 1.8	2.10–2.32	Леписферовая хлопьевидно- леписферовая
Силициты/ силициты глинистые	>50	15–45	$0.3 < K < 0.45$ $K > 0.45$	1.80–1.95	2.35–2.57	Леписферово- хлопьевидная хлопьевидная
Кремнистые глины	<50	10–20	$K > 0.45$ (при наличии ОКТ-фазы)	1.85–1.94	2.52–2.64	Хлопьевидная

обусловлено более плотной конформной упаковкой хлопьевидных индивидов кремневой матрицы (см. рис. 5а, б).

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено следующее.

1. С применением метода рентгеноструктурного анализа кремневые породы можно разделить на силициты и опоки по таким минералогическим параметрам, как содержание в породе ОКТ-фазы и степени ее структурного совершенства.

2. При изучении кремневых пород с помощью электронного микроскопа подтверждено различие микроструктур кремневой матрицы в опоках и силицитах.

3. Содержание микропор зависит от особенностей микроструктуры кремневой матрицы. Наиболее высокие значения пористости характерны для пород со структурным коэффициентом $K < 0.3$ (опоки).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Глухов Т.В., Кудаманов А.И., Новоселова М.Ю. (2021) Происхождение кремневого вещества в отложениях нижней части верхнеберезовской свиты Западной Сибири. *Тюмень 2021. Управление недрами как кросс-функциональный процесс*. Мат-лы 7-й науч.-практ. конф. по разведке нефти и газа. М.: ЕАГЕ Геомодель, 57-61.

Дистанова Л.Р., Насонова Н.В., Кудаманов А.И. (2022) Геологическое строение и перспективы газоносности отложений верхнеберезовской подсвиты кампанского возраста позднего мела на примере одного из месторождений Западной Сибири. *Геология нефти и газа*, (5), 5-16.

Кудаманов А.И., Агалаков С.Е., Маринов В.А., Новоселова М.Ю., Глухов Т.В. (2018) К вопросу об условиях седиментации кампана (верхний мел) Западной Сибири. *Нефтяная провинция*, 4(16), 35-54.

Кудаманов А.И., Карих Т.М., Агалаков С.Е., Маринов В.А. (2019) Хэяхинская пачка опок и перекрывающие кремнисто-глинистые отложения (верхний мел, Западная Сибирь). Особенности строения. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, (11), 21-30.

Кузнецов В.Г. (2007) Литология. Осадочные горные породы и их изучение. М.: Недра-Бизнесцентр, 511 с.

Михалкина О.Г. (2016) Применение метода рентгеновской дифракции для исследования зерна и техногенных продуктов. *Вести газовой науки*, (4), 96-107.

Муравьев В.И. (1975) О природе глобулярного опала в опоках и трепелах. *Докл. АН СССР*, 222(3), 684-686.

Пережогин А.С., Нежданов А.А., Смирнов А.С. (2016) Перспективы освоения сенонского газоносного комплекса севера Западной Сибири. *Экспозиция Нефть Газ*, (6), 42-45.

Плюснина И.И. (1983) Метаморфические реакции низкотемпературного кремнезема в земной коре. М.: Изд-во МГУ, 225 с.

Рухин Л.Б. (1961) Основы литологии. Учение об осадочных породах. Л.: Гос. науч.-техн. изд-во нефтяной и горно-топливной л-ры, 781 с.

Справочник по литологии. (1983) (Под ред. Н.В. Вассоевича и др.). М.: Недра, 509 с.

Фролов В.Т. (1992) Литология. Кн. 1. М.: Изд-во МГУ, 336 с.

Шванов В.Н., Фролов В.Т., Сергеева Э.И. и др. (1998) Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов. СПб.: Недра, 352 с.

Черепанов В.В., Меньшиков С.Н., Варягов С.А., Оглодков Д.Ю., Бондарев В.Л., Гудзенко В.Т., Миротворский М.Ю., Клокова В.П. (2015) Проблемы оценки нефтегазоперспективности отложений нижнеберезовской подсвиты севера Западной Сибири. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, (2), 11-26.

Черепанов В.В., Пятницкий Ю.И., Хабибуллин Д.Я., Ситдииков Н.Р., Варягов С.А., Нерсесов С.В., Оглодков Д.Ю. (2014) Перспективы наращивания ресурсной базы газовых месторождений на поздней стадии разработки путем изучения промышленного потенциала нетрадиционных коллекторов надсенонских отложений. *Геология и нефтегазоносность Западно-*

Сибирского мегабассейна (опыт, инновации). Мат-лы 9-й Междунар. науч.-техн. конф. Т. 2. Тюмень: ТюмГНГУ, 28-36.

GEOLIB.NET. Справочник по геологии. Кремнистые породы. https://www.geolib.net/litology/kremnistye_porody.html

REFERENCES

- Cherepanov V.V., Men'shikov S.N., Varyagov S.A., Oglodkov D.Yu., Bondarev V.L., Gudzenko V.T., Mirotvorskii M.Yu., Klokoval V.P. (2015) Problems of assessing the oil and gas potential of deposits of the Lower Berezovskaya subsurface of the North of Western Siberia. *Geologiya, Geofizika i Razrabotka Neftyanikh i Gazovykh Mestorozhdenii*, (2), 11-26. (In Russ.)
- Cherepanov V.V., Pyatnitskii Yu.I., Khabibullin D.Ya., Sitdikov N.R., Varyagov S.A., Nersesov S.V., Oglodkov D.Yu. (2014) Prospects for increasing the resource base of gas fields at a late stage of development by studying the industrial potential of unconventional reservoirs of the Suprasomanian deposits. *Geology and oil and gas potential of the West Siberian megabasin (experience, innovations)*. Materials of the 9th International Scientific and Technical Conference. V. 2. Tyumen, TyumGNGU, 28-36. (In Russ.)
- Distanova L.R., Nassonova N.V., Kudamanov A.I. (2022) Geological structure and prospects of gas-bearing deposits of the Upper Berezovskaya sub-formation of the Campanian age of the Late Cretaceous on the example of one of the deposits of Western Siberia. *Geologiya Nefti i Gaza*, (5), 5-16. (In Russ.)
- Frolov V.T. (1992) Lithology. Book 1. Moscow, Publishing House of Moscow State University, 336 p. (In Russ.)
- Glukhov T.V., Kudamanov A.I., Novoselova M.Yu. (2021) The origin of flint matter in the sediments of the lower part of the Upper Berezovskaya formation of Western Siberia. *Tyumen 2021. Natural resources management as a cross-functional process*. Materials of the 7th Scientific and Practical Conference on Oil and Gas Exploration. Moscow, EAGE Geomodel Publ., 57-61. (In Russ.)
- Handbook of Lithology. (1983) (Ed. N.V. Vassoevich et al.). Moscow, Nedra Publ., 509 p. (In Russ.)
- Kudamanov A.I., Agalakov S.E., Marinov V.A., Novoselova M.Yu., Glukhov T.V. (2018) On the question of the conditions of sedimentation of the Campana (Upper Cretaceous) Western Siberia. *Neftyanaya Provintsiya*, 4(16), 35-54. (In Russ.)
- Kudamanov A.I., Karikh T.M., Agalakov S.E., Marinov V.A. (2019) Heyakhinskaya pack of flakes and overlapping siliceous-clay deposits (Upper Cretaceous, Western Siberia). Features of the structure. *Geologiya, Geofizika i Razrabotka Neftyanikh i Gazovykh Mestorozhdenii*, (11), 21-30. (In Russ.)
- Kuznetsov V.G. (2007) Lithology. Sedimentary rocks and their study. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 511 p. (In Russ.)
- Mikhalkina O.G. (2016) Application of the X-ray diffraction method for the study of core and technogenic products. *Vesti Gazovoi Nauki*, (4), 96-107. (In Russ.)
- Murav'ev V.I. (1975) On the nature of globular opal in opals and trepels. *Dokl. AN SSSR*, 222(3), 684-686. (In Russ.)
- Perezhogin A.S., Nezhdanov A.A., Smirnov A.S. (2016) Prospects for the development of the Senon gas-bearing complex in the north of Western Siberia. *Expozitsiya Neft' Gaz*, (6), 42-45. (In Russ.)
- Plyusnina I.I. (1983) Metamorphic reactions of low-temperature silica in the Earth's crust. Moscow, Publishing House of Moscow State University, 225 p. (In Russ.)
- Rukhin L.B. (1961) Fundamentals of lithology. The doctrine of sedimentary rocks. Leningrad, State Scientific and Technical Publishing House of Petroleum and Mining and Fuel literature, 781 p. (In Russ.)
- Shvanov V.N., Frolov V.T., Sergeeva E.I. et al. (1998) Systematics and classifications of sedimentary rocks and their analogues. St.Petersburg, Nedra Publ., 352 p. (In Russ.)
- GEOLIB.NET. Handbook of Geology. Siliceous rocks. https://www.geolib.net/litology/kremnistye_porody.html (In Russ.)