

Микроскопические особенности строения глинисто-кремнистых отложений верхнего мела Западной Сибири на примере пласта НБ1

Кудаманов А.И., Павлуткин И.Г., Карих Т.М.
ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия
aikudamanov@tnnc.rosneft.ru

Аннотация

Верхнемеловые (сантон) опоки Западно-Сибирской плиты (ЗСП), распространенные на площади более 2 млн км² в виде пласта средней мощностью 30–35 м, характеризуются неравномерной степенью кристаллизации опал-кристобалит-тридимитовой (ОКТ) фазы кремнезема. На большей части территории ЗСП содержание вторичного кварца, по данным рентгенофазового анализа (РФА), колеблется от первых единиц до 30–40 %. Иногда (на западе и юго-западе) вторичный кварц составляет более 70 %, при этом ОКТ-фаза методом РФА не выявлена (кристаллизация прошла полностью). Морфологические различия обособлений кремнезема установлены на изображениях растрового электронного микроскопа при увеличении в 5–6 тысяч раз.

Увеличение в 5–6 тысяч раз позволяет выявить признаки различной степени кристаллизации аморфного кремнезема.

Материалы и методы

Показаны результаты сравнительного анализа лабораторных данных (рентгеноструктурный, петрографический и метод растровой микроскопии) изучения опок верхнего мела (сантон) Западной Сибири, характеризующихся незакономерной по латерали различной степенью кристаллизации аморфного кремнезема.

При увеличении более 5 тысяч раз установлены морфологические отличия индивидов кремнезема с различной степенью кристаллизации.

Ключевые слова

березовская свита, опоки, коллоид, леписферы, кристаллизация

Для цитирования

Кудаманов А.И., Павлуткин И.Г., Карих Т.М. Микроскопические особенности строения глинисто-кремнистых отложений верхнего мела Западной Сибири на примере пласта НБ1 // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 8. С. 62–69. DOI: 10.24412/2076-6785-2023-8-62-69

Поступила в редакцию: 17.11.2023

GEOLOGY

UDC 551.7, 552.5, 549.1 | Original Paper

A case study of NB1 reservoir to evaluate the microscopic structural features of the upper cretaceous clay-siliceous deposits of West Siberia

Kudamanov A.I., Pavlutkin I.G., Karikh T.M.
“Tyumen petroleum research center” LLC, Tyumen, Russia
aikudamanov@tnnc.rosneft.ru

Abstract

The Upper Cretaceous (Santonian) opokas within the West Siberian Plate (WSP), developed over an area of more than two million square kilometers in the form of a reservoir 30–35 m thick are characterized by an uneven degree of crystallization of the opal-crystobalite-tridymite (OCT) phase of silica. According to X-ray diffraction (XRD) analysis, across much of the WSP, the content of secondary quartz ranges from the first units to 30–40 %. Occasionally (in the west and south-west), secondary quartz makes up more than 70 %, while the OCT phase has not been detected by XRD (complete crystallization). Morphological differences in silica segregations were interpreted in SEM (Scanning Electron Microscope) images magnified 5–6 thousand times.

Magnification of 5–6 thousand times allows to identify signs of varying degrees of crystallization of amorphous silica.

Materials and methods

The results of a comparative analysis of laboratory data (X-ray diffraction, petrographic method, and scanning electron microscopy) on the Upper Cretaceous (Santonian) opokas in West Siberia, characterized by laterally irregular degrees of crystallization of amorphous silica. When magnified by more than 5 thousand times, morphological

differences of silica units with varying degrees of crystallization were established.

Keywords

berezovsky formation, opokas, colloid, lepispheres, crystallization

For citation

Kudamanov A.I., Pavlutkin I.G., Karikh T.M. A case study of NB1 reservoir to evaluate the microscopic structural features of the upper cretaceous clay-siliceous deposits of West Siberia. Exposition Oil Gas, 2023, issue 8, P. 62–69. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2023-8-62-69

Received: 17.11.2023

Введение

В условиях истощения основных запасов сеноманского газа существует объективная необходимость приращения запасов углеводородов, в том числе за счет нетрадиционных для Западно-Сибирской плиты (ЗСП) глинисто-кремневых коллекторов надсеноманской части разреза верхнего мела, с нередкими проявлениями и притоками газа. Следовательно, уточнение состава и строения слабо изученного верхнего мела ЗСП весьма актуально [1].

Расположение кремневых пород в определенной части геологического разреза не является случайным. Важно установление (реконструкция) способа локализации определенного объема кремнезема и всей его последующей (постседиментационной) истории. В одних и тех же фашиальных обстановках при латеральных вариациях условий, например жизнедеятельности планктона, значительные объемы кремнезема могут накапливаться различным сочетанием способов — хемогенным, хемогенно-биогенным, биогенным. Кроме того, масштабно представленное по латерали тело разновозрастных осадков близкого состава может испытывать вторичные процессы различной интенсивности, в зависимости от интенсивности проявления тектонических (климатических, вулканических и др.) процессов в той или иной части территории распространения данного тела (рис. 1а). В строении единого тела, сложенного кремневыми

породами, вполне вероятно установить различия в свойствах, вызванных колебаниями первичных условий осадконакопления и неравномерностью проявления вторичных процессов [2].

«Покровные» тела отложений сано-на ЗСП (рис. 1 б) характеризуются глинисто-кремневым составом (преимущественно биогенно-хемогенного происхождения опоки, автохтонного типа), неглубоким современным залеганием (700–1 100 м) и относительно невысокой степенью литогенеза. Согласно реконструкции палеорельефа и результатам оценки масштабов эрозионного среза, на севере ЗСП погружение опок достигало 1 600–1 800 м. В настоящее время в северной части ЗСП данный интервал разреза осложнен наличием горизонта вечной мерзлоты. При небольшой мощности (суммарно до 200–250 м) глинисто-кремневые породы, как уже было сказано, формируют «плащевидный» облик на территории большей части Западной Сибири. Площадь распространения опок хэяхинской пачки (пласт НБ1) составляет до 2 млн км². Даже при скромной оценке мощности пласта в 10 метров суммарный объем кремнезема хэяхинской пачки составит около 20 тыс. км³. При этом максимальные толщины глинисто-кремневых пород занимают центральные районы (в виде пятен неправильной формы, рис. 1б), с уменьшением мощности к периферии и постепенным эрозионным

выклиниванием по обрамлению ЗСП, что контролируется особенностями обстановок осадконакопления и постседиментационно-го развития региона [8].

Материалы, методы и результаты

Для интерпретации и характеристики происхождения кварца в породах кремнистых формаций (первично-осадочный в виде примеси обломочного материала, или литогенетический, как результат старения коллоидного осадка и кристаллизации опала) наиболее эффективно комплексное применение трех лабораторных методов.

Первый — изучение в шлифах под поляризационным микроскопом (рис. 2, 3).

Под микроскопом важно оценить количество гранулярной составляющей отложений (обломочного материала, в том числе кварца, глауконита, остатков скелетных организмов, пирита, карбонатов, цеолитов и пр.) и объем глинисто-кремнистого субстрата (матрицы породы). Диагностика новообразованного кварца, вследствие его микроскопических размеров, под обычным микроскопом весьма затруднительна (рис. 3).

Кварц в опоках представлен как в обломочных фракциях (макроскопический первичный — терригенный, пирокластический, окварцованные остатки планктона), так и в окристаллизованном агрегате глинисто-кремнистого субстрата/матрицы (вторичный, криптозернистый, практически не диагностируемый под микроскопом на рис. 3).

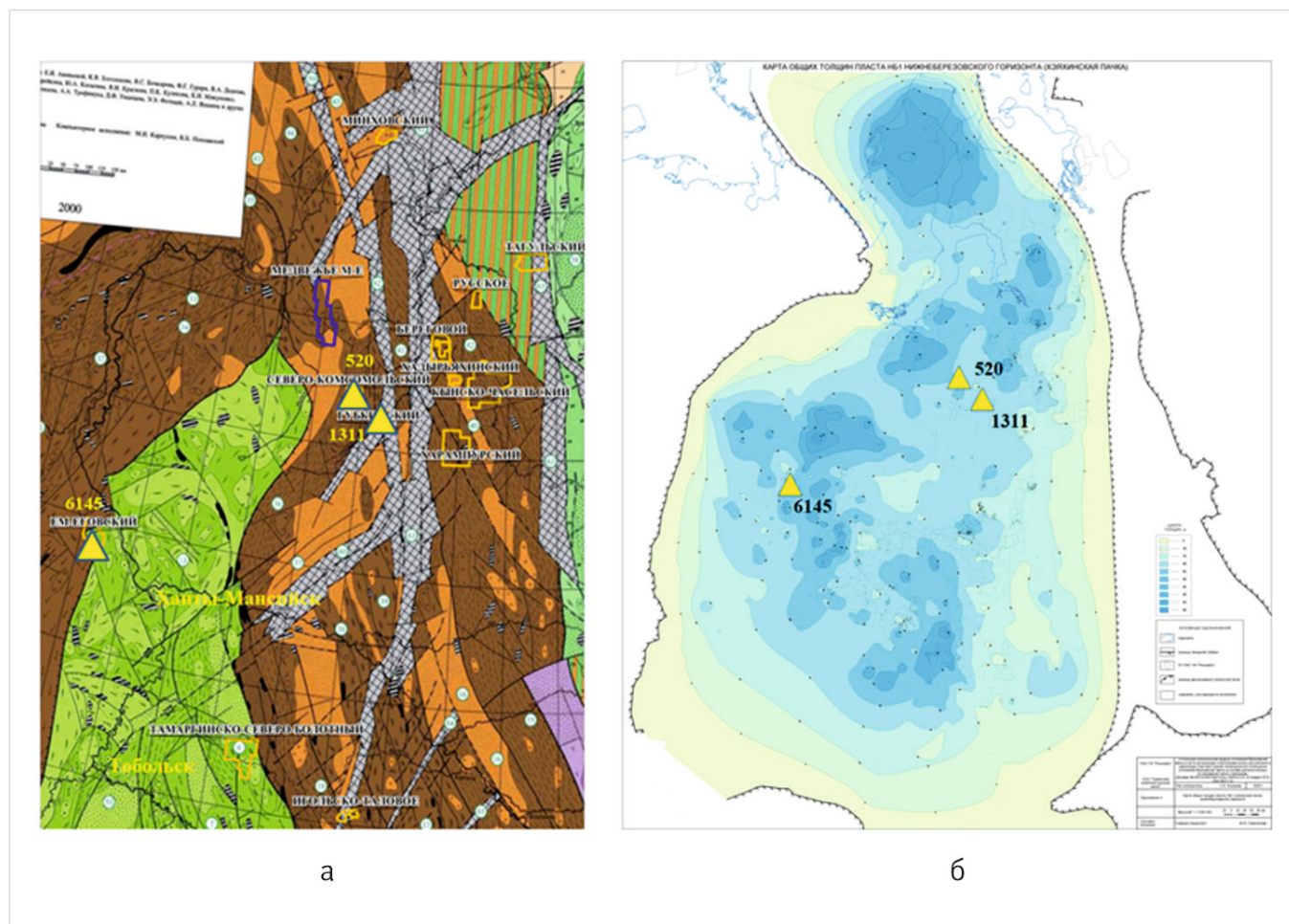


Рис. 1. а — фрагмент тектонической карты фундамента Западно-Сибирской плиты [Жеро и др., 2000] с дополнениями; б — карта общих толщин (5–50 м) пласта НБ1 (ООО «ТННЦ», М.Ю. Новоселова, 2021)

Fig. 1. а — fragment of a tectonic map of the West Siberian basement [Zhero et al., 2000], supplemented; б — gross thickness map (5–50 m) of NB1 reservoir (“Tyumen petroleum research center” LLC, M.Yu. Novoselova, 2021)

Для оценки доли криптозернистого кварца используется второй метод — рентгено-структурного анализа порообразующих компонентов породы (РСАобщ). Кроме оценки содержания кварца, полевых шпатов (ПШ),

цеолита, карбонатов, пирита и опал-кристобалит-тридимита (ОКТ-фазы), методом РСАобщ определяется суммарное содержание на породе глинистых минералов (в том числе глауконита) (рис. 4).

В данном случае в составе глин абсолютно преобладают смектиты (частично трансформированные в иллиты [7]) и глауконит. Смектиты и иллит образуют агрегаты с аморфным кремнеземом (отдельные компоненты в шлифах не диагностируются, их размеры не превышают 1–3 мкм; но существует возможность оценить общий объем агрегатного комплекса).

На рисунке 4 не отмечена доля кварца в составе обломочного материала (ОМ). По шлифам для всех трех скважин содержание ОМ составляет, как правило, 1–3 %, редко 5–7 % и, единично до 20–25 %. Даже в условиях абсолютного преобладания кварца в составе ОМ (по шлифам) численные значения кварца по данным метода РСАобщ значительно превышают результаты петрографической оценки.

Кроме того, устойчивой особенностью данных РСА (рис. 4) являются пропорции аморфного кремнезема ОКТ и кварца (в сумме порядка 80–90 %). Например, в скважине 520 сумма ОКТ всего 45 % (кварца 38,5 %), в скважине 1311 — более 80 % (кварца всего 7 %). А в скважине 6145 ОКТ не установлен вовсе (доля кварца — до 78 %). Иначе говоря, чем больше доля кварца, тем меньше содержание ОКТ, и наоборот.

Само собой, напрашивается вывод о неравномерной степени кристаллизации аморфного кремнезема. Но скважины 520 и 1311 расположены практически рядом — глубина современного залегания пласта НБ1 в скважине 520 составляет 990–998 м, а в 1311 — 770–800 м (рис. 1, 4). Вряд ли нахождение пласта в одной скважине относительно другой на 200 м ниже могло привести к столь резким различиям в степени кристаллизации кремнезема.

Дополнительно к анализу привлечены результаты изучения опок из керна скважины 6145 на западе Западной Сибири (рис. 1–4). По шлифам установлено не более 5 % примеси ОМ (единично линзовидными пятнами до 20 %). По данным РСАобщ наличие аморфного кремнезема (ОКТ-фазы) в пласте НБ1 скважины 6145 не установлено совсем, но аномальное содержание кварца составляет от 73 до 85 % (рис. 4). Содержание суммы глин в скважине 6145 относительно отложений пласта НБ1 других скважин (рис. 1, 4) заметно повышенное (от 12 до 18–23 %; доля глауконита не превышает 1–2 %).

Таким образом, результаты комплексного анализа описания прозрачных шлифов и данных РСАобщ свидетельствуют о неравномерной кристаллизации ОКТ-фазы даже в соседних скважинах (в скв. 6145 кристаллизация аморфного кремнезема прошла на 100 %). Так как РСАобщ регистрирует суммарное количество кварца — долю обломочного кварца можно оценить под микроскопом, а оставшееся количество, видимо, можно «записать на счет» кристаллизации аморфного кремнезема. Процедура довольно приблизительная — точную оценку доли кварца в составе ОМ сделать весьма затруднительно, тем более выделить в составе агрегат-матрицы кремнезему составляющую и разделить ее на кристаллическую (новообразованную) и аморфную (остаточную) части. То есть для оценки степени кристаллизации ОКТ разрешающей способности обычного поляризационного микроскопа явно не хватает.

Следовательно, реальным «камнем преткновения» для визуального изучения являются микроскопические размеры

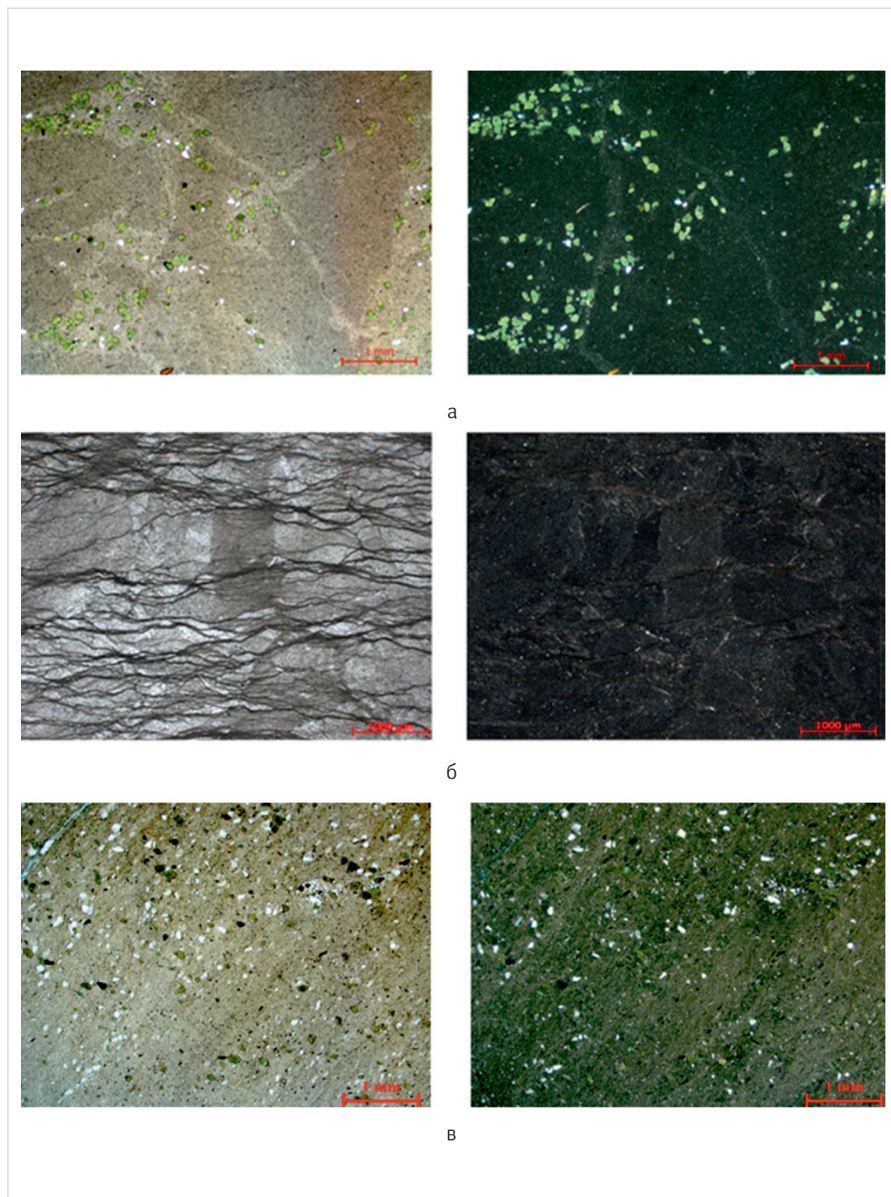


Рис. 2. Фото шлифов. Увеличение $\times 25$: а — опока с зернами глауконита, примесь терригенных и туфогенных обломков, редкими биогенными остатками, с сетью закрытых трещин синерезиса, изотропная. Вид слева без анализатора, справа с анализатором. Сква. 1311, обр. № 6652, пласт НБ1, гл. по бур. 783,05 м; б — опока с незначительной примесью алевритового материала, с единичным глауконитом, с многочисленными глинистыми прожилками уплотнения и слоями, с минерализованными трещинами, слабо биотурбированная, изотропная. Вид слева без анализатора, справа с анализатором. Сква. 520, обр. № 16342, пласт НБ1, гл. по бур. 998,73 м; в — кремнисто-глинистая неравномерно алевритистая, участками песчаная порода с зернами глауконита, с редкими биогенными остатками, с единичными полыми литогенетическими микротрещинами, полуизотропная. Вид слева без анализатора, справа с анализатором. Сква. 6145, обр. № 7547, пласт НБ1, гл. по бур. 861,45 м. (ООО «ТННЦ», 2023)

Fig. 2. Thin sections. 25 \times magnification: а — opoka with glauconite grains, admixture of terrigenous and tuffogenic fragments, rare biogenic residues, with a network of closed syneresis fractures, isotropic. Left-hand view: without an analyzer, right-hand view: with an analyzer. Well 1311, sample № 6652, reservoir NB1, drilling depth — 783,05 m; б — opoka with a slight admixture of siltstone material, with occasional glauconite, with numerous clay compaction veins and lamina, with mineralized fractures, slightly bioturbated, isotropic. Left-hand view: without an analyzer, right-hand view: with an analyzer. Well 520, sample No. 16342, reservoir NB1, drilling depth — 998,73 m; в — siliceous-clayey, unevenly silty, in sections sandy with glauconite grains, with rare biogenic residues, with single hollow lithogenetic micro-fractures, semi-isotropic. Left-hand view: without an analyzer, right-hand view: with an analyzer. Well 6145, sample No. 7547, reservoir NB1, drilling depth — 861,45 m. (“Tyumen petroleum research center” LLC, 2023)

минеральных индивидов (не более 1–3 мкм) и сложное спутанно-волоконистое агрегатное состояние смеси глин и кремнезема. Слабая анизотропность новообразованного кварца не позволяет уверенно оценить соотношение общей глины и кремневого вещества (и степени его кристалличности) в составе матрикса породы (рис. 3). Другими словами, стандартная оптическая микроскопия, в данном случае, не является достаточно уверенным средством (инструментом) изучения степени кристаллизации ОКТ-фазы (на пределе возможности метода стандартного микроскопического исследования).

Для обоснованной интерпретации результатов применения РСАобщ (например, в отношении пропорций ОКТ/новообразованный кварц) эффективно использовать возможности больших увеличений (десятки тысяч раз) растрового электронного микроскопа (РЭМ) — третьего метода лабораторных исследований, в нашем случае, специфических глинисто-кремнистых отложений верхнего мела Западной Сибири (рис. 5–10).

Авторская методика оценки степени кристаллизации ОКТ-фазы

Приблизительную степень кристаллизации ОКТ по данным лабораторных исследований рассчитывали следующим способом:

1. Из доли кварца (по данным РСАобщ) вычитали содержание обломочного материала (ОМ, по данным петрографии, представлен преимущественно кварцем), остаток относили к вторичному кварцу (не диагностируемому под микроскопом).
2. Сумма вторичного кварца и ОКТ-фазы (по данным РСАобщ) составляет долю хомогенного кремнезема в составе первичного глинисто-кремнистого агрегата илов/коллоидов (100 %).
3. Дальше простым расчетом оценивали сколько (от 100 %) аморфного кремнезема ОКТ-фазы трансформировалось в кристаллический кварц.

Повторяем, расчет достаточно условный, так, например, появление заметной доли цеолитов или ПШ (а они, в данном случае, преимущественно вторичной природы, что будет продемонстрировано ниже) «отвлекает» часть кремнезема на свое формирование (когда появляются заметные доли цеолитов и ПШ, вторичного кварца образуется меньше, что можно констатировать по данным метода РСАобщ).

На рисунке 5 приведены примеры находок обломочного материала в опоках пласта НБ1 (по шлифам, как правило, 2–3 %, редко до 5–10 %, единично, в виде исключения, до 20–25 %), вскрытых в разрезе скважин 520 и 6145. Зерна кварца морфологически зачастую с признаками вулканической (пепловой) природы, иллит в виде крупных чешуйчатых пластин [3, 4]. Отмечаются обломки кристаллов гранатов и калий-натриевых полевых шпатов. В разрезе скв. 1311 отмечены аналогичные редкие зерна кварца, ПШ, иллита.

Как уже было сказано, для интерпретации качественных минеральных характеристик породы, полученных методом РСАобщ, эффективно применение РЭМ — третьего лабораторного метода исследований дисперсных осадков.

На рисунке 6 показаны примеры аутигенных стяжений кристаллов пирита (глобулы) и опал-кристаллита-тридимита (леписферы ОКТ).

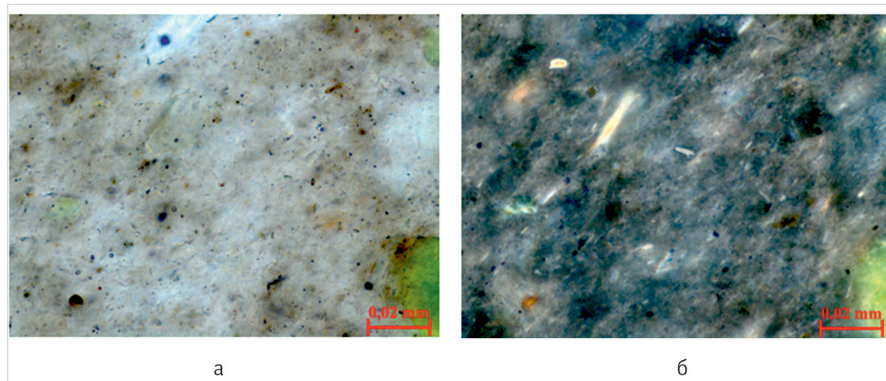


Рис. 3. Скв. 6145, обр. № 7547, нижнеберезовская свита, гл. по бур. 861,45 м. НБ1 (рис. 2в). Фото шлифа, увеличение $\times 1000$: а — без анализатора, б — с анализатором (в скрещенных николях кремнезем слабо двупреломляет, то есть, наблюдается слабая анизотропия новообразованного кварца) (ООО «ТННЦ», 2023)

Fig. 3. Well 6145, sample No. 7547, Nizhneberезovskaya Formation, drilling depth – 861,45 m. NB1 (fig. 2в). A picture of thin section, 1000 \times magnification: а – without an analyzer; б – with an analyzer (in crossed nichols, silica is slightly double-refracted, i.e., slight anisotropy of newly formed quartz is observed) (“Tyumen petroleum research center” LLC, 2023)

№ скв.	Кол-во обр., шт.	Привязка					После экстракции					
		Кровля по ГИС	Подшова по ГИС, м	Стратиграфическая единица	Пористость по гелию	Проницаемость по газу	Плотность, г/см ³		Общая глина по РСАобщ, %	Кварц по РСАобщ, %	ОКТ по РСАобщ, %	Кристаллизация ОКТ, %
							объемная	минералогическая				
520	40 обр.	990,80	998,90	НБ1	32,6	0,27	1,59	2,36	8,10	38,50	45,00	41
1311	14 обр.	771,50	800,00	НБ1	40,7	0,17	1,33	2,25	9,10	7,10	80,90	2
6145	8 обр.	862,60	869,20	НБ1	33,2		1,75	2,62	19,10	77,60	0	100

Рис. 4. Характеристика свойств глинисто-кремнистых отложений пласта НБ1, вскрытого в разрезе 3-х скважин, отмеченных на рисунке 1 (ООО «ТННЦ», 2023)

Fig. 4. The properties of clay-siliceous deposits of NB1 reservoir penetrated by three wells marked in fig. 1 (“Tyumen petroleum research center” LLC, 2023)

Вторичные минералы в опоках пласта НБ1

На рисунке 8 показаны вторичные минералы (пирит, цеолиты, ПШ, сульфаты, кварц), также приуроченные к пустотам/отпечаткам планктона.

Леписферы («волосатые колобки», \varnothing 2–3 мкм, иногда до 4–5 мкм) — в виде овальных индивидов аморфного кремнезема с волосовидными наростами (удлинёнными «шипиками») кремнезема на поверхности. Хорошо различимы в пустотах (отпечатках) кремнесфер (\varnothing до 25–30 мкм, по радиоляриям) и диатомей. В основной массе опок — плотно сросшиеся «колобки» с укороченными «шипиками», обычно с признаками деформации («смятые», вероятно, в процессе диагенетического роста).

Глобулы (\varnothing от 3–5 мкм, до 10–15 мкм) овальные, сложены в разной степени сближенными кристаллами пирита (тетраэдры, октаэдры, размером в первые доли мкм). Часто внутри глобул между кристаллами пирита «прорастают» нитевидные кристаллы ангидрита («волоски»). Иногда на поверхности глобул «прилипают» немного более толстые «палочки» или «брусочки» того же сульфата.

Анализ морфотипов аутигенного кремнезема в опоках пласта НБ1

Как уже было сказано, леписферы отмечаются только опоках НБ1 двух скважин — 520 и 1311. На рисунке 9 показаны примеры леписфер.

Вторичные минералы свидетельствуют о процессах частичного преобразования (растворения, перекристаллизации) глинисто-кремнистого агрегата (матрицы отложений; с переходом части опала в ОКТ, и части смектита в иллит), происходящих при дальнейшем обезвоживании и отвердевании коллоидного вещества иловых осадков. При этом повышенные концентрации химических компонентов (кремний, алюминий, железо) в растворе способствуют аутигенному формированию новых (цеолиты, сульфаты, возможно, ПШ) и, вероятно, регенерационному росту уже существующих минералов (пирита, кварца, ПШ, вероятно, глауконита).

Хорошо различимые глобулы и леписферы приурочены к пустотам/отпечаткам — по диатомеям и радиоляриям (кремнесферы). В скв. 6145 леписферы ОКТ не установлены; глобулы пирита меньшего размера (\varnothing не более 3 мкм) с менее плотной упаковкой кристаллов пирита.

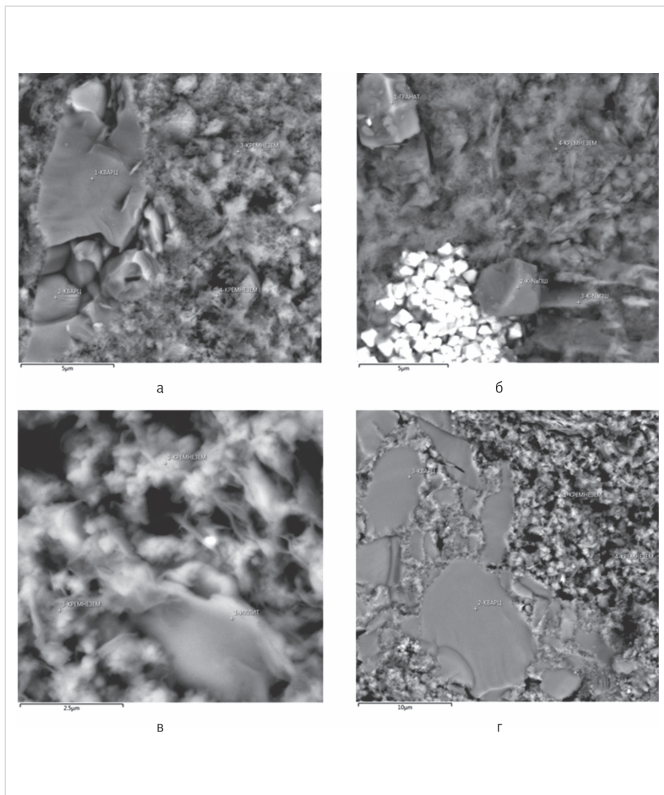


Рис. 5. Примеры примеси обломочного материала: а — кварц (скв. 520, обр. 16 320); б — пирит, калий-натриевый плевой шпат (ПШ), гранат (скв. 520, обр. 16320); в — иллит (скв. 6145, обр. 7544); г — кварц (скв. 6145, обр. 7547) (ООО «ТННЦ», И.Г. Павлуткин, 2023)

Fig. 5. Examples of admixture of detrital material: а — quartz (well 520, sample 16 320); б — pyrite, potassium-sodium feldspar, garnet (well 520, sample 16320); в — illite (well 6145, sample 7544); г — quartz (well 6145, sample 7547) (“Tyumen petroleum research center” LLC, I.G. Pavlutkin, 2023)

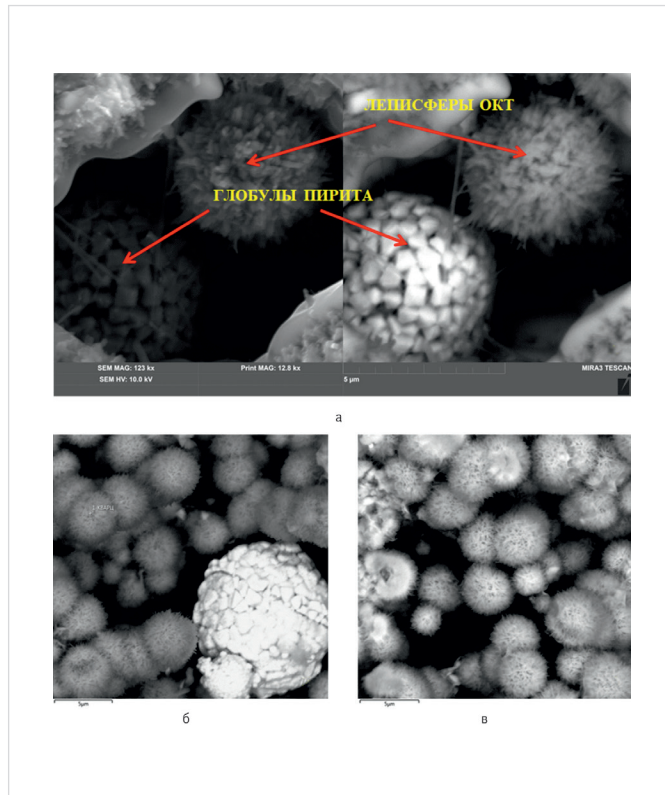


Рис. 6. Примеры леписфер и глобул: а — глобулярное стяжение кристаллов пирита (до 5 мкм) и леписфера (до 4 мкм) ОКТ (скв. 520, обр. 16332; одно изображение разными методами); б — стяжение пирита (до 10–12 мкм), леписферы (3–4 мкм) ОКТ (скв. 1311, обр. 6 652); в — леписферы (2–3 мкм) ОКТ (скв. 1 311, обр. 6600) (ООО «ТННЦ», И.Г. Павлуткин, 2023)

Fig. 6. Examples of lepispheres and globules: а — globular contraction of pyrite crystals (up to 5 microns) and lepisphere (up to 4 microns) of OCT (well 520, sample 16332; one image by various methods); б — pyrite contraction (up to 10–12 microns), lepisphere (3–4 microns) of OCT (well 1311, sample 6 652); в — lepispheres (2–3 microns) of OCT (well 1 311, sample 6600) (“Tyumen petroleum research center” LLC, I.G. Pavlutkin, 2023)

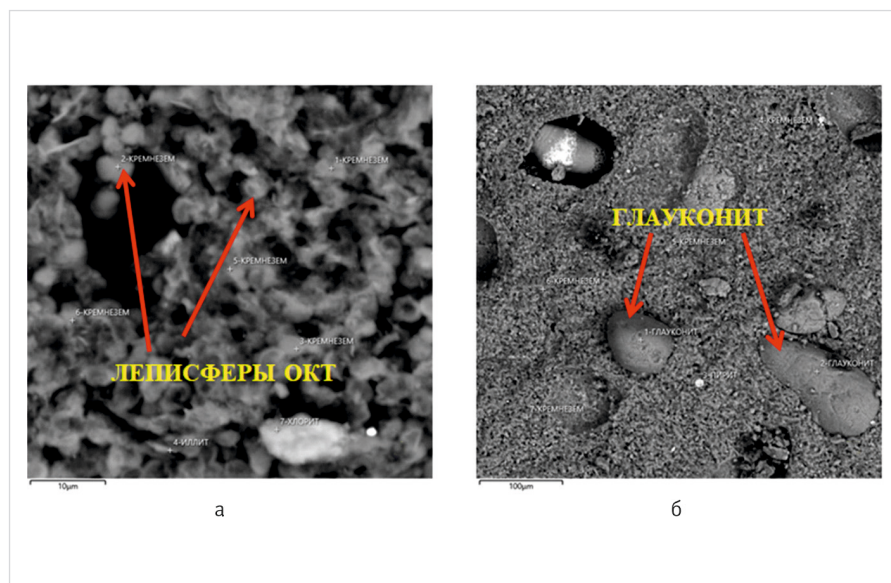


Рис. 7. Примеры леписфер и микроконкреций (пласт НБ1): а — редкие реликтовые леписферы (2–3 мкм) ОКТ (скв. 1311, обр. 6636); б — микроконкреции (до 100 мкм и более) глауконита (скв. 1311, обр. 6652) (ООО «ТННЦ», И.Г. Павлуткин, 2023)

Fig. 7. Examples of lepispheres and microconcretions (NB1): а — rare relict lepispheres (2–3 microns) of OCT (well 1311, sample 6636); б — microconcretions (up to 100 microns or more) of glauconite (well 1311, sample 6652) (“Tyumen petroleum research center” LLC, I.G. Pavlutkin, 2023)

В разрезе скв. 1311, кроме «угнетенных» леписфер ОКТ, отмечены микроконкреции глауконита размером до 100 мкм и больше (рис. 6) [9].

Наглядно отражено, что волосовидные наросты (шипики) на поверхности леписфер при большем увеличении выглядят как микроскопические кристаллы (сложенные исключительно двуокисью кремния). Кроме того, сноповидные образования между леписферами установлены только в опоках скважины 520.

Таким образом, даже в разрезе трех показанных скважин вещество SiO₂ (кремневая кислота) пласта НБ1 находится в различном агрегатном состоянии. В 520 и 1311 — в преобладающем виде леписфер (по данным РСА — ОКТ и кварц), но в 520 добавляются хорошо выраженные сноповидные агрегаты между леписферами. В 6145 (рис. 10) — в виде сложно переплетенных агрегатных сростков микроскопических кристаллов (кристаллитов) кварца (по данным РСА).

Следовательно, в результате комплексных исследований глинисто-кремнистых отложений верхнего мела Западной Сибири, установлено объективное противоречие: при постоянных относительно низких значениях (по описанию шлифов — 2–3, редко 5–10, единично до 20–25 %) примеси обломочного материала (а значит, и обломочного кварца в том числе) в опоках

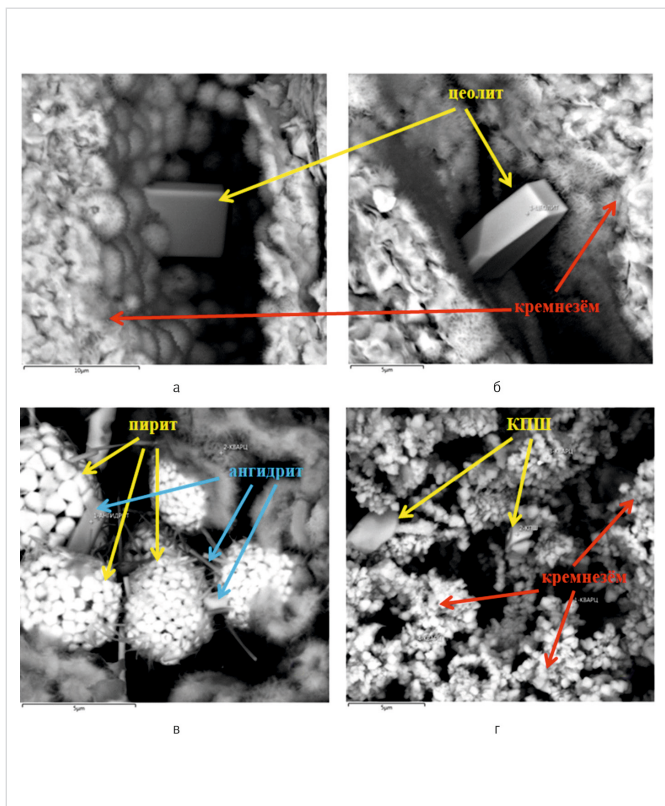


Рис. 8. Примеры вторичных минералов в опоках пласта НБ1: а — кристалл цеолита внутри скелетного остатка диатомеи, заполненного по стенкам леписферами ОКТ (скв. 1311, обр. 8232); б — кристалл цеолита внутри смятого скелетного остатка диатомеи, заполненного по стенкам леписферами ОКТ (скв. 1311, обр. 6600); в — кристаллы пирита (тетраэдры, октаэдры), образующие сферолитовые стяжения, с волосовидными и шестоватыми кристаллами ангидрита (проросшими из внутренней части пиритовых стяжений), в обрамлении смятых леписфер ОКТ (скв. 1311, обр. 6626); г — сростки кристаллов (кристаллитов) вторичного кварца (по леписферам ОКТ), вторичного КПШ (скв. 6145, обр. 7547). (ООО «ТННЦ», И.Г. Павлуткин, 2023)

Fig. 8. Examples of secondary minerals in the NB1 opokas: a — a zeolite crystal inside a skeletal remnant of a diatom filled along the walls with OCT lepispheres (well 1311, sample 8232); б — a zeolite crystal inside a crumpled skeletal remnant of a diatom filled along the walls with OCT lepispheres (well 1311, sample 6600); в — pyrite crystals (tetrahedra, octahedra) forming spherulite concretions, with hairlike and hexagonal anhydrite crystals (intergrown from the inner part of pyrite couplings), framed by crumpled OCT lepispheres (well 1311, sample 6626); г — aggregates of crystals (crystallites) of secondary quartz (along OCT lepispheres), secondary K-feldspar (well 6145, sample 7547) ("Tyumen petroleum research center" LLC, I.G. Pavlutkin, 2023)

пласта НБ1 (на примере трех рассматриваемых скважин), по данным РСАобщ содержания кварца варьируют в очень широких пределах (от 7–10 до 30–40 % в скв. 1311 и 520; и до 85 % в скв. 6145) и не имеют корреляции с количеством обломочной примеси.

Кроме этого, во всех скважинах с отбором керн из пласта НБ1 отмечена обратная зависимость (показана на примере трех изучаемых скважин) — содержание ОКТ увеличивается при пониженных значениях кварца и наоборот (по данным РСАобщ).

Фактически установленная закономерность обратных пропорций кварца и ОКТ (по РСАобщ) свидетельствует о неравномерно проявленных процессах кристаллизации аморфного кремнезема даже в соседних скважинах. Причины неравномерной кристаллизации требуют

обоснованного объяснения, но факт остается фактом — выявленная зависимость объективно существует.

На фоне полученных нами результатов особый интерес вызывают недавно опубликованные данные по типизации отложений березовской свиты в пределах Харампурского месторождения Западной Сибири. В статье [6] приведен весьма информативный рисунок с графической демонстрацией обратной зависимости содержания кварца и ОКТ-фазы (рис. 11), в целом прекрасно иллюстрирующий полученные нами выводы. На рисунке 11 наглядно представлено — чем больше содержание кварца, тем меньше доля ОКТ, и наоборот. Но «высокая степень кристалличности кремневой матрицы», видимо, по невнимательности (или просто опечатка), почему-то «присвоена» авторами 3-й дифрактограмме, где отмечается

максимум доли ОКТ-фазы и минимум содержания кварца.

Согласно нашим представлениям (на основе полученных нами фактических данных и многочисленных публикаций других исследователей), кварц является продуктом кристаллизации ОКТ-фазы, а это значит, что «высокая степень кристалличности» охарактеризована на дифрактограмме № 1. И тогда наглядно проявляется логичная закономерность — «коэффициент структурного совершенства» тем больше, чем более «высокая степень кристалличности» (что также относится к дифрактограмме № 1).

В завершение отметим, что открыты остаются, по крайней мере, два важных вопроса.

Первый — что является контролирующим фактором различной степени кристаллизации кремневой матрицы даже в соседних скважинах.

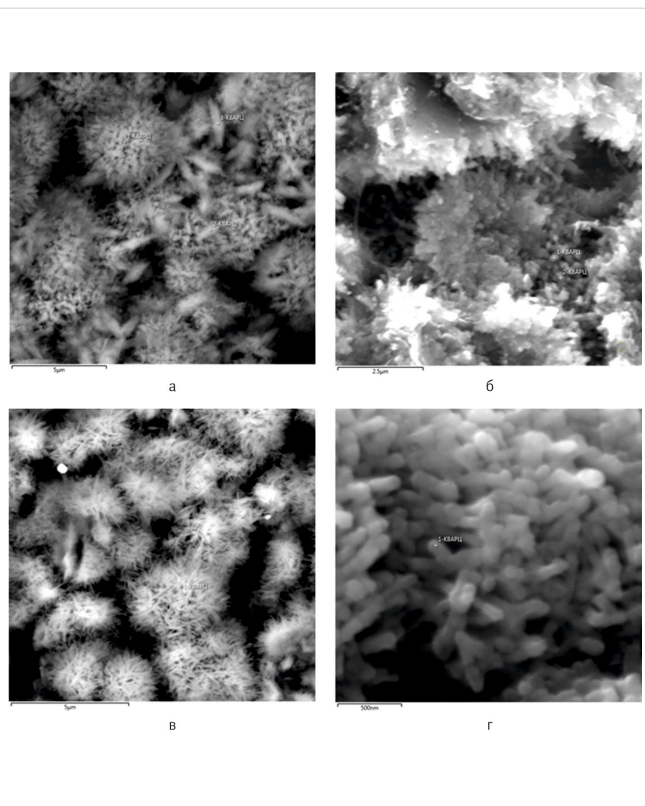


Рис. 9. Сравнение леписфер: а — леписферы (до 3 мкм) ОКТ и кремневые «снопики» (связующие мостики) между ними (скв. 520, обр. 16320, × 7040); б — частично разрушенные леписферы (до 3 мкм) ОКТ (скв. 520, обр. 16342, × 12700); в — леписферы (2–3 мкм) ОКТ без связующих кремневых «снопиков» (скв. 1311, обр. 6652, × 8750); г — поверхность леписферы с частыми сростками (друзами, щетками) кристаллов вторичного кварца размером менее 0,5 мкм (скв. 1311, обр. 6603, × 5050). (ООО «ТННЦ», И.Г. Павлуткин, 2023)

Fig. 9. Comparison of lepispheres: а — lepispheres (up to 3 microns) of OCT and silicious "bundles" (bonding bridges) between them (well 520, sample 16320, × 7040); б — partially destroyed lepispheres (up to 3 microns) of OCT (well 520, sample 16342, × 12700); в — lepispheres (2–3 microns) of OCT without bonding silicious "bundles" (well 1311, sample 6652, × 8750); г — lepisphere surface with frequent accretions (druses, brushes) of secondary quartz crystals less than 0.5 microns in size (well 1311, sample 6603, × 5000) ("Tyumen petroleum research center" LLC, I.G. Pavlutkin, 2023).

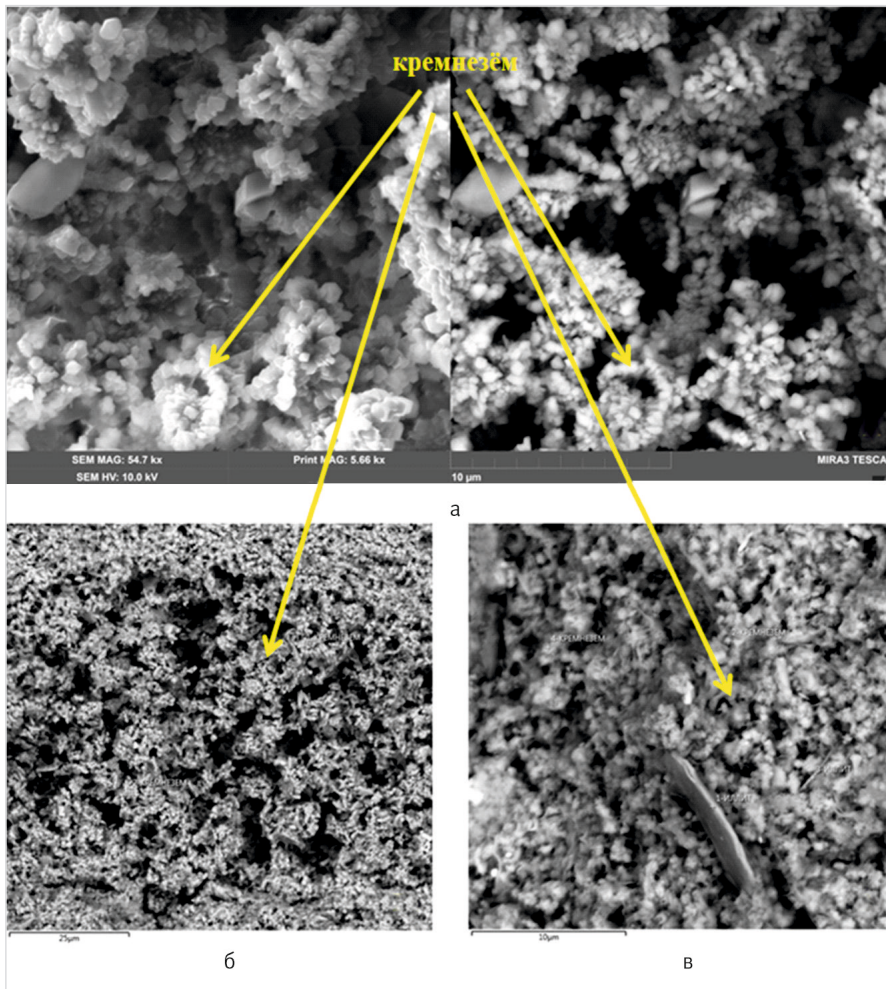


Рис. 10. Примеры микроскопических индивидов кварца пласта НБ1 в скважине 6145: а — изогнутые нитевидные агрегатные сростки кристаллитов кварца в «емкости» отпечатка планктона (скв. 6145, обр. 7547; одно изображение разными методами, дополнительно см. рис. 62); б — заполнение вторичным кварцем отпечатка кремнесферы (скв. 6145, обр. 7547); в — землястые агрегаты гранул/кристаллитов вторичного кварца (скв. 6145, обр. 7530) (ООО «ТННЦ», И.Г. Павлуткин, 2023)
 Fig. 10. Examples of microscopic quartz units of NB1 reservoir in well 6145: а — curved filamentous aggregates of quartz crystallites in a “container” of a plankton imprint (well 6145, sample 7547; one image made by various methods, see fig. 62); б — filling of the silica sphere imprint with secondary quartz (well 6145, sample 7547). в — earthy aggregates of granules/crystallites of secondary quartz (well 6145, sample 7530) (“Tyumen petroleum research center” LLC I.G. Pavlutkin, 2023)

Второй — как влияет на фильтрационные свойства (ФЕС) степень кристаллизации ОКТ. Небольшой комментарий к вопросу о ФЕС. На рисунке 2 приведены усредненные данные по некоторым свойствам для пласта НБ1 в трех скважинах. На рисунке 2 видно, что наименьшие показатели объемной и минералогической плотности характерны для наименее кристаллизованных отложений (скв. 1311), как и максимальные значения пористости. Напротив, наибольшие плотности присущи породам, где ОКТ-фаза лабораторными методами не диагностируется (скв. 6145), но зато фиксируются максимальные значения доли кварца (77,6 %). Проницаемость здесь лабораторными методами не установлена (для отложений характерна интенсивная трещиноватость, в том числе микроскопическая [5]).

Итоги

- В разрезе верхнего мела Западной Сибири представлены слабоглинистые опоки (пласт НБ1, мощностью 5–30, участками до 50 м), распространенные на площади порядка 2 млн км², объемной массой в первые десятки тысяч км³. Опки верхнего мела, особенно на северо-востоке Западной Сибири являются перспективными на обнаружение газовых залежей.
- Изначально формировались биогенно-хемогенным способом сложные глинисто-опаловые илы/коллоиды (камфлированная пирокластика – смектиты, опал, глауконит, цеолиты). При обезвоживании и уплотнении (литификации) аморфный кремнезём постепенно переходит в агрегат опал-кристаллит-тридимит (ОКТ) и далее частично кристаллизуется в кварц. Смектитовые (бентонитовые) глины частично трансформируются в иллит (гидрослюдю).
- В результате анализа данных по шлифам, РСАобщ и РЭМ (на примере трех скважин) установлена заметно различная степень кристаллизации аморфного кремнезема (ОКТ) даже в соседних скважинах (№ 520 и 1311). Участками аморфный кремнезём по данным РСАобщ совсем не регистрируется (100 % кристаллизация ОКТ — скважина № 6145).

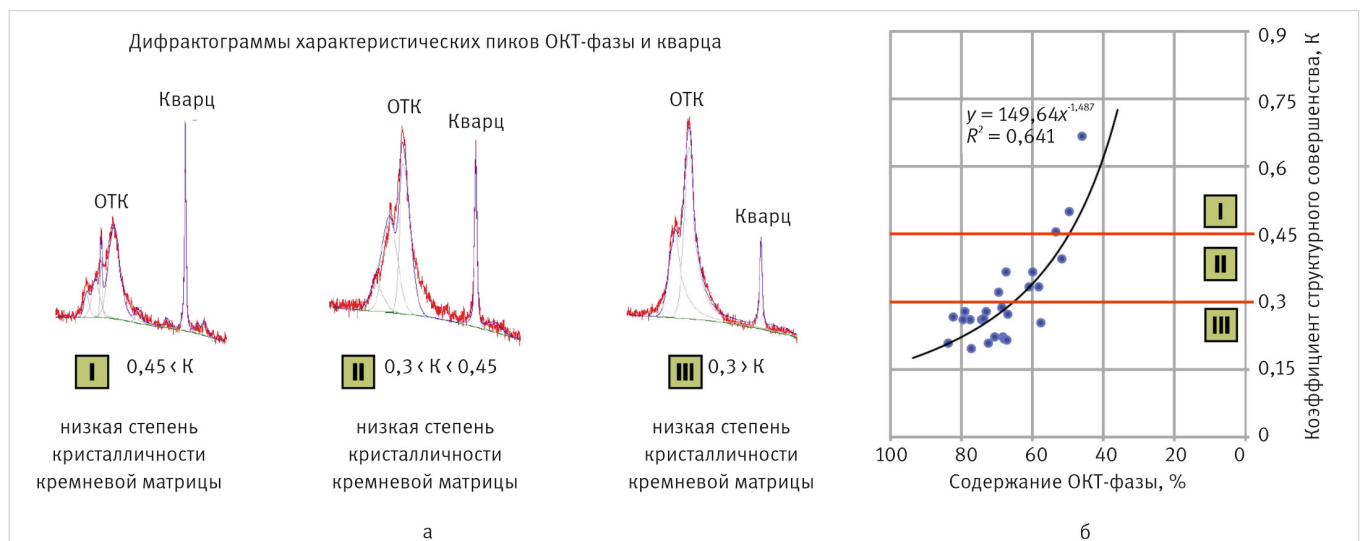


Рис. 11. а — дифрактограммы рентгеноструктурных исследований для различных типов ОКТ-фазы; б — график зависимости коэффициента структурного совершенства от содержания ОКТ-фазы [6]
 Fig. 11. а — X-ray diffraction patterns for various types of OКТ-phases; б — structural perfection factor vs. the OКТ phase content [6]

Выводы

- Причины неравномерной степени кристаллизации ОКТ (даже в соседних скважинах) на данный момент не имеют обоснованной интерпретации. Вероятно, причины связаны с особенностями проявления на территории Западной Сибири неотектонических процессов.
- Разработана авторская методика предварительной оценки степени кристаллизации ОКТ по комплексному анализу информации по шлифам (под микроскопом) и результатов РСАобщ. На данный момент установлено, что повышенная степень кристаллизации приводит, как правило, к снижению пористости, увеличению объемной и минералогической плотности. Оценка проницаемости осложняется повышенной хрупкостью пород (как с преобладанием ОКТ, так и вторичного кварца) и относительно малой выборкой фактических данных на современном этапе исследований верхнемеловых опок Западной Сибири.

Литература

1. Агалаков С.Е. Геология и газоносность верхнемеловых надсеноманских отложений Западной Сибири. Диссертация. Тюмень, 2020. 221 с.
2. Баженова О.К. Аутигенная нефтеносность кремнистых толщ: Диссертация. М.: 1991, 489 с.
3. Зорина С.О. Афанасьева Н.И., Жабин А.В. Следы пирокластики в сантон-кампанских отложениях разреза «Вишневое» (Среднее Поволжье) // Литосфера. 2012. № 3. С. 3–13.
4. Карих Т.М., Кудаманов А.И., Агалаков С.Е., Маринов В.А. Новые находки пирокластики в отложениях верхнего мела Западной Сибири // Геология нефти и газа. 2020. № 4. С. 19–28.
5. Карих Т.М., Кудаманов А.И. Мультимасштабный подход к исследованию отложений березовской свиты // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2020. № 5. С. 15–24.
6. Климова Е.С., Чертина К.Н., Александров М.А., Соловьева А.В., Аржиловская Н.Н. Типизация глинисто-кремнистых отложений березовской свиты (на примере скважин Харампурского месторождения). Литосфера. 2023. Т. 23. № 2. С. 197–208.
7. Коссовская А.Г., Шутов В.Д. Проблема эпигенеза // Эпигенез и его минеральные индикаторы. 1971. Вып. 221. С. 9–34.
8. Кудаманов А.И., Агалаков С.Е., Маринов В.А. Трансгрессивно-регрессивный характер осадконакопления в коньяке-сантоне верхнего мела Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. 2018. № 7. С. 58–63.
9. Кудаманов А.И., Карих Т.М. Следы проявления вулканогенно-гидротермальных процессов в глинисто-кремнистых отложениях верхнего мела Западной Сибири // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2023. Т. 18. № 1. 19 с.

ENGLISH

Results

- The Upper Cretaceous section of West Siberia is formed by slightly-clayey opokas (NB1 reservoir, 5–30 thick, in parts up to 50 m thick) developed over an area of about 2 million km², with a volume density of the first tens of thousands of km³. The Upper Cretaceous opokas, especially in the north-east of West Siberia, can be promising gas accumulation targets.
- Initially, complex clayey-opal silts/colloids (camphorated pyroclastics - smectites, opals, glauconites, and zeolites) were formed by a biogenic-chemogenic method. During a dehydration and consolidation (lithification) process, amorphous silica gradually passes into the opal-cristobalite-tridymite (OCT) aggregate and then partially crystallizes into quartz. Smectite (bentonite) clays are partially transformed into illite (hydromica).
- The analysis of thin sections and XRD and SEM data (from three wells) revealed a markedly different degree of crystallization of amorphous silica (OCT) even in offset wells (№ 520 and 1311). Occasionally, no amorphous silica is recorded by the XRD method (100 % crystallization of OCT – well № 6145).

References

1. Agalakov S.E. Geology and gas content of upper cenomanian deposits of West Siberia: Ph.D. thesis: Tyumen, 2020, 221 p. (In Russ).
2. Bazhenova O.K. Autigenic oil content of siliceous strata: Ph.D. thesis: 1991, 489 p. (In Russ).
3. Zorina S.O., Afanasjeva N.I., Zhabin A.V. Traces of pyroclastics in Santonian-Campanian deposits (“Vishnevoje” section, the Middle Volga). Lithosphere, 2012, issue 3, P. 3–13. (In Russ).
4. Karikh T.M., Kudamanov A.I., Agalakov S.E., Marinov V.A. New pyroclastics occurrences in upper cretaceous deposits of Western Siberia. Geology of oil and gas, 2020, issue 4, P. 19–28. (In Russ).
5. Karikh T.M., Kudamanov A.I. A multi-scale approach to the study of the berezovsky formation deposits. Geology, geophysics and development of oil and gas fields, 2020, issue 5, P. 15–24. (In Russ).
6. Klimova E.S., Chertina K.N., Alexandrov M.A., Solovyova A.S. Arzhilovskaya N.N. Typification of clay-siliceous deposits of the berezovskaya formation (on the example of wells of the Kharampurskoye field). Lithosphere, 2023, Vol. 23, issue 2, P. 197–208. (In Russ).
7. Kossovskaya A.G., Shutov V.D. The problem of epigenesis. Epigenesis and its mineral indicators, 1971, Vol. 221, P. 9–34. (In Russ).
8. Kudamanov A.I., Agalakov S.E., Marinov V.A. Transgressive-regressive type of sedimentation in the Western Siberian coniacian-santonian (upper cretaceous). Oil industry 2018, issue 7, P. 58–63. (In Russ).
9. Kudamanov A.I., Karikh T.M., 2023. Traces of volcanogenic-hydrothermal processes in upper cretaceous clay-siliceous strata of Western Siberia. Petroleum geology - Theoretical and applied studies, 2023, Vol. 18, issue 1, 19 p. (In Russ).

Conclusions

- The causes of the uneven degree of crystallization of OCT (even in offset wells) currently have no reasonable explanation. The causes might be related to the peculiarities of the neo-tectonic processes occurring in the territory of West Siberia.
- A unique method has been developed for the preliminary assessment of the degree of OCT crystallization by a complex analysis of the thin sections (under a microscope) and XRD data. At the moment, it has been established that a higher degree of crystallization generally leads to a decrease in porosity and an increase in volume and mineralogical density. The permeability assessment is complicated by the hyper-fragility of rocks (both with a predominance of OCT and secondary quartz) and a relatively small sample of actual data available at the current stage of research of the Upper Cretaceous opokas of West Siberia.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кудаманов Александр Иванович, к.г.-м.н., эксперт,
ООО «Тюменский нефтяной научный центр»,
Тюмень, Россия
Для контактов: aikudamanov@tnnc.rosneft.ru

Павлуткин Илья Геннадьевич, главный специалист,
ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

Карих Татьяна Михайловна, главный специалист,
ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

Kudamanov Alexander Ivanovich, candidate of geological and mineralogical sciences, expert,
“Tyumen petroleum research center” LLC, Tyumen, Russia
Corresponding author: aikudamanov@tnnc.rosneft.ru

Pavlutkin Ilya Gennadievich, chief specialist,
“Tyumen petroleum research center” LLC, Tyumen, Russia

Karikh Tatyana Mikhailovna, chief specialist,
“Tyumen petroleum research center” LLC, Tyumen, Russia