

## Неравномерная трансформация осадочного кремнезема Западной Сибири (на примере сантонских опок хэяхинской пачки)

А. И. Кудаманов\*, Т. М. Карих, С. Е. Агалаков, И. Г. Павлуткин

ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

\*aikudamanov@tnnc.rosneft.ru

**Аннотация.** Верхнемеловые, потенциально газоносные опоки хэяхинской пачки (сантон) Западно-Сибирской плиты, распространенные на площади порядка 2,5 млн км<sup>2</sup> в виде пласта мощностью 20–30 м, характеризуются крайне неравномерной степенью кристаллизации агрегата кремнезема (опал-кristобалит-тридимита или ОКТ-фазы) — важным параметром для оценки фильтрационно-емкостных свойств. Кристаллизация ОКТ-фазы (старение) в природных системах может быть обусловлена различными причинами. В настоящее время изучение особенностей преобразования кремнезема верхнемеловых опок требует унифицированного и системного подхода. Для оценки степени старения опок в керне более 30 скважин был использован комплекс лабораторных методов — петрографическое описание прозрачных шлифов, рентгеноструктурный анализ обшей (РСА<sub>общ</sub>) и тонкодисперсной фракции (РСА<sub>глин</sub>), а также растровый электронный микроскоп (РЭМ). На большей части территории Западно-Сибирской плиты в опоках хэяхинской пачки содержание кварца по данным РСА<sub>общ</sub> колеблется от 5–10 до 30–45 %, при этом доля ОКТ-фазы установлена в количестве 30–50 %. Но на западе и юго-западе Западно-Сибирской плиты кварц составляет до 80 % и больше, при этом ОКТ-фаза методом РСА<sub>общ</sub> не выявлена. Морфологические различия обособлений кремнезема установлены на изображениях РЭМ при увеличении в 5–6 тысяч раз. В изучаемых толщах участки пород с повышенной степенью старения ОКТ-фазы пространственно не совпадают с участками пород, имеющих признаки трансформации набухающих глинистых минералов (монтмориллонита) в иллит. На основании накопленных новых данных, а также с учетом обнаруженных на сейсмических разрезах в западной части Западно-Сибирской плиты врезанных форм рельефа (русел) в среднем маастрихте сделан следующий вывод: отсутствие ОКТ-фазы и аномально высокая доля кварца в опоках хэяхинской пачки в западной области Западно-Сибирской плиты обусловлены полной кристаллизацией ОКТ-фазы в обстановках субаэральной экспозиции (экзогенные условия) отложений верхнего мела в среднем маастрихте.

**Ключевые слова:** березовская свита, хэяхинская пачка, опоки, леписферы, кристаллизация, литогенез, трансформация

**Благодарности:** авторы выражают благодарность коллегам — сотрудникам ООО «Тюменский нефтяной научный центр» — А. О. Гордееву, А. В. Калабину, Л. Р. Дистановой, А. В. Ялоза, В. А. Маринову, И. О. Ошнякову, Д. А. Митрофанову, Т. В. Глухову, М. А. Александрову за помощь в обработке информации, оформлении графики и конструктивные замечания к содержанию. Особая благодарность анонимным рецензентам за ценные замечания и комментарии по обсуждаемым в статье вопросам.

**Для цитирования:** Неравномерная трансформация осадочного кремнезема Западной Сибири (на примере сантонских опок хэяхинской пачки) / А. И. Кудаманов, Т. М. Карих, С. Е. Агалаков, И. Г. Павлуткин. – DOI 10.31660/0445-0108-2024-4-64-83 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2024. – № 4. – С. 64–83.

## Uneven transformation of sedimentary silica in Western Siberia (a case study of the Santonian gizzes of the Hayakha formation)

Alexander I. Kudamanov\*, Tatyana M. Karikh, Sergey E. Agalakov,  
Ilya G. Pavlutkin

**Abstract.** The Upper Cretaceous, potentially gas-bearing gaizes of the Hayakha formation (Santon) of the West Siberian Plate, which covers an area of approximately 2.5 million km<sup>2</sup>, is characterized by a highly irregular degree of crystallization of silica aggregate (opal-cristobalite-tridimite or OCT-phase). This is an important parameter for assessing filtration-capacity properties. The gaize is present in 20-30 m thick strata and is distributed across an area of approximately 2.5 million km<sup>2</sup>. The crystallization of the OCT-phase (ageing) in natural systems can be attributed to a number of factors. The study of the transformation features of the Upper Cretaceous gaize rocks currently necessitates a unified and systematic approach. A series of laboratory techniques, including petrographic description of transparent slides, X-ray diffraction analysis of the total (XRD) and fine fraction (XRD<sub>clay</sub>), and scanning electron microscope, were employed to evaluate the extent of opaque aging in cores from over 30 wells. In most of the West Siberian Plate within the Hayakha formation gaizes the quartz content, according to XRD data, ranges from 5-10 to 30-45 %. Additionally, the proportion of OCT-phase is observed to be 30-50 %. However, in the western and south-western regions of the West Siberian plate, quartz constitutes up to 80 % or more, and OCT-phase is undetected by the XRD method. The morphological differences of silica isolations are established on scanning electron microscope images at a magnification of 5,000-6,000 times. In the examined stratigraphic sequences, the areas of rocks exhibiting an elevated degree of OCT-phase ageing do not correlate with the areas displaying indications of transformation of swelling clay minerals (montmorillonite) into illite. On the basis of the accumulated new data, as well as taking into account the mid-Maastrichtian incised relief forms (channels) detected on seismic sections in the western part of the West Siberian Plate, the following conclusion is made: the absence of OCT-phase and anomalously high quartz fraction in gaizes of the Hayakha formation in the western region of the West Siberian Plate are caused by complete crystallization of OCT-phase in the conditions of subaerial exposure (exogenous conditions) of Upper Cretaceous sediments in the Middle Maastrichtian.

**Keywords:** Berezhovskaya formation, Hayakha formation, gaizes, lepispheres, crystallization, lithogenesis, transformation

**Acknowledgments:** the authors are grateful to colleagues from Tyumen Petroleum Research Center LLC, namely A. O. Gordeev, A. V. Kalabin, L. R. Distanova, A. V. Yaloza, V. A. Marinov, I. O. Oshnyakov, D. A. Mitrofanov, T. V. Glukhov, and M. A. Aleksandrov for their assistance in the processing of information, graphic design, and constructive comments on the content. The authors are especially grateful to the anonymous reviewers for their valuable comments and feedback on the issues discussed in the article.

**For citation:** Kudamanov, A. I., Karikh, T. M., Agalakov, S. E., & Pavlutkin, I. G. (2024). Uneven transformation of sedimentary silica in Western Siberia (a case study of the Santonian gaizes of the Hayakha formation). *Oil and Gas Studies*, (4), pp. 64-83. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2024-4-64-83

## Введение

Распространение на огромной территории (более 2 млн км<sup>2</sup>) Западно-Сибирской плиты (ЗСП) плащевидного тела выдержанных по составу маломощных опок хэяхинской пачки (20–30 м, участками до 50 м) свидетельствует о благоприятных условиях осадконакопления кремнезема, существующих длительное время [1–3].

Содержание двуокиси кремния в опоках хэяхинской пачки составляет 85–95 % и более. Следовательно, если принять мощность пачки 10–20 м на площади распространения, то суммарный объем кремнезема превысит 25–30 тыс. км<sup>3</sup>. С учетом остальных глинисто-кремнистых отложений нижеберезовского горизонта (в среднем 50 м), где ОКТ-фаза занимает

30–50 % объема, суммарная доля  $\text{SiO}_2$  составит до 50 тыс. км<sup>3</sup>. А это половина объема изверженного материала одной крупной провинции кремнекислого вулканизма [4]. Согласно современным представлениям [5–7], минеральная ассоциация в составе опок хэяхинской пачки (преобладающая ОКТ-фаза, смектиты/иллиты, глауконит, цеолиты) является во многом сходной с комплексом камуфлированной пироклаستيки. Абсолютное преобладание кремнистой составляющей (по лабораторным данным  $\text{SiO}_2$  до 95 % и более) и гигантские объемы проявления позволяют прогнозировать масштабное и продолжительное участие в осадконакоплении нижнеберезовского горизонта пепловых облаков крупных провинций кремнекислого вулканизма на этапах их активизации [2, 8].

### **Объект, методы исследования и результаты**

В процессе изучения пелитоморфных глинисто-кремнистых отложений верхнего мела ЗСП в Центре исследования керн (ЦИК) ООО «Тюменский нефтяной научный центр» основными методами являлись:

- 1) РСА<sub>общ</sub> (XRD-рентгеноструктурный анализ, общий, определение валового минерального состава, определение основных породообразующих компонентов, в том числе кварца и ОКТ-фазы);
- 2) РСА<sub>глин</sub> (XRD-рентгеноструктурный анализ, определение минерального состава глинистой компоненты);
- 3) РФА (XRF-рентгенофлуоресцентный анализ, определение элементного состава);
- 4) петрографический анализ (характеристика структурно-текстурных особенностей породы в прозрачных шлифах);
- 5) РЭМ (растровая электронная микроскопия, характеристика структурных особенностей ОКТ-фазы).

На основе структурных различий кремнезема, установленных методами XRD, РЭМ и петрографических исследований, в стратонах березовских горизонтов выделено три типа проявления суммарного кремнезема (кварца и ОКТ-фазы) [9].

Степень преобразования глинисто-кремнистых отложений контролируется проявлением широкого спектра процессов обезвоживания и уплотнения. Вторичные процессы обусловлены региональными факторами (погружением, перекрытием, дегидратацией, уплотнением и т. д.; литогенезом при диагенезе/катагенезе). Наложенные процессы (влияние глубинных разломов, гидротермально-вулканогенных проявлений, инверсионных движений и пр.) являются эпигенетическими и могут участвовать в литогенезе.

Результаты изучения опок хэяхинской пачки разных участков Западной Сибири (порядка 10 месторождений) значительно различаются долями ОКТ-фазы и кварца (табл. 1).

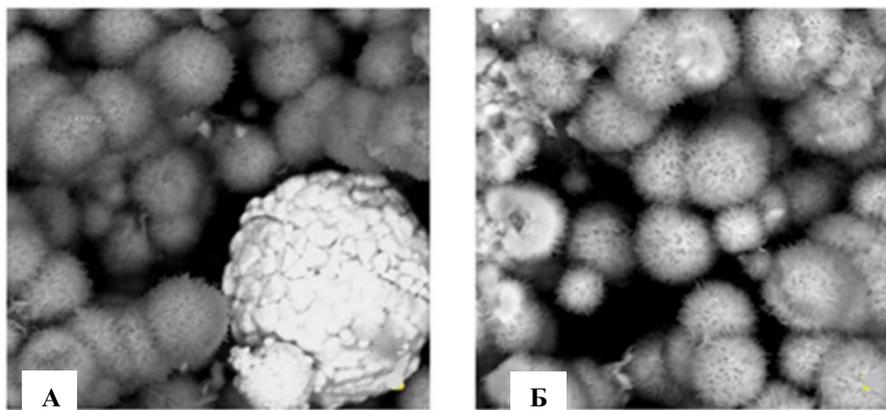
**Усредненные значения параметров для опок стратона НБ1  
нижнеберезовского горизонта на 3-х месторождениях ЗСП [10]**

Номер скважины	Количество образцов, шт.	Привязка					После экстракции					ОКТ по $РСА_{общ}$ , %	Кристаллизация ОКТ, %
		Кровля по ГИС	Подшва по ГИС, м	Стратиграфическая единица	Пористость по гелию	Проницаемость по газу	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Общая глина по $РСА_{общ}$ , %	Кварц по $РСА_{общ}$ , %			
							объемная	минералогическая					
<b>520</b>	40	990,80	998,90	<b>НБ1</b>	32,6	0,27	1,59	2,36	8,1	38,5	45,0	<b>41</b>	
<b>1311</b>	14	771,50	800,00	<b>НБ1</b>	40,7	0,17	1,33	2,25	9,1	7,1	80,9	<b>2</b>	
<b>6145</b>	8	862,60	869,20	<b>НБ1</b>	33,2	–	1,75	2,62	19,1	77,6	0	<b>100</b>	

В таблице 1 приведены данные  $РСА_{общ}$  хэяхинской пачки (стратона НБ1) в разрезе 3-х скважин разных лицензионных участков (ЛУ). Доля кварца (по  $РСА_{общ}$ ) варьирует от 7 до 78 %. Но под поляризационным микроскопом (в прозрачных шлифах) обломочный материал алевритовой размерности (преимущественно представленный кварцем, менее полевыми шпатами) составляет, как правило, 5–10 % (единично до 15–20 %). То есть только в скв. 1311 весь кварц, установленный под микроскопом, можно отнести к обломочному материалу. При этом преобладающая часть пород в скв. 1311 представлена микроскопическим агрегатом неиндивидуализированной ОКТ-фазы (почти изотропным в скрещенных николях, около 81 %), менее значительно представлены глинистые минералы. То есть, по данным  $РСА_{общ}$ , кристаллизация ОКТ-фазы в скв. 1311 почти не установлена. В скв. 6145, наоборот, доля кварца составляет до 78 % (то есть, 60–70 % излишков, по данным  $РСА_{общ}$ ), ОКТ-фаза не установлена вовсе. Очень слабое просветление глинисто-кремнистого агрегата при вращении столика микроскопа вполне может быть отнесено к дефектам изготовления шлифа. В скв. 520 примерно равные доли кварца (38,5 %, за минусом обломочного излишки составляют около 30 %) и ОКТ-фазы (45 %). Преобладающий глинисто-кремнистый агрегат также практически изотропный под микроскопом. Контрольные замеры методом  $РСА_{общ}$  не выявили нарушений в проведении исследований разными методами (разброс контрольных значений в пределах допустимой погрешности). Сделано предположение, что излишки кварца по  $РСА_{общ}$  могут являться вторичным кварцем, образованным в результате кристаллизации ОКТ-фазы (старения геля кремниевых

кислот). При этом размерность индивидов и их агрегатов (цепочек) вторичного кварца за пределами разрешающей способности обычного поляризационного микроскопа (тысячные доли мм).

Результаты изучения опок 3-х скважин в РЭМ показали различное состояние кремнезема в каждом отдельном случае (см. табл. 1, рис. 1, 2). На рисунке 1 при увеличении около 5 тыс. раз установлены сфероидальные выделения кремнезема — леписферы ( $\varnothing$  2–4 мкм) с мелкими волосовидными наростами («волосатые колобки», судя по данным  $РСА_{общ}$  и публикациям [7], сложенные преимущественно ОКТ-фазой).



**Рис. 1. Примеры леписфер и фрамбондов. Стратон НБ1, гл. по бур. 788,43 м.**  
(А) — фрамбондальное стяжение пирита (10–12 мкм), леписферы (3–4 мкм) ОКТ-фазы (Губкинский ЛУ, скв. 1311). (Б) — леписферы (2–3 мкм) ОКТ-фазы (Губкинский ЛУ, скв. 1311). Увеличение  $\times 4870$  [10].

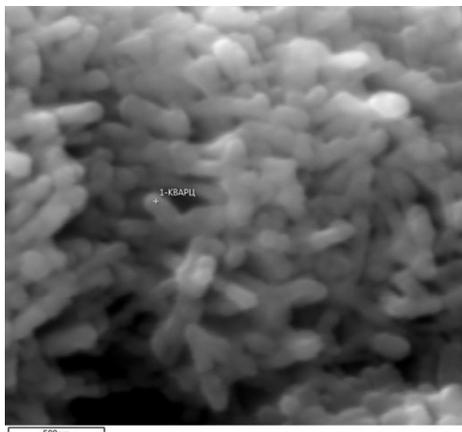
При увеличении более 50 тыс. раз (см. рис. 2) видно, что волосовидные наросты на леписферах ОКТ-фазы являются разнонаправленными микрокристаллами кварца, образованными в результате перехода ОКТ-фазы на поверхности леписфер в кристаллическую фазу. По всей видимости, часть ОКТ-фазы на поверхности леписфер постепенно стареет и формирует волосовидные кристаллы вторичного кварца. Средняя доля кварца по  $РСА_{общ}$  (см. табл. 1) в опоках скв. 1311 составляет порядка 7 % (почти все можно отнести к обломочным фракциям), ОКТ-фазы — до 81 % (кремнезема в сумме — 88 %).

На рисунке 3 (изображение РЭМ опок скв. 520 Северо-Комсомольского ЛУ) видно, что волосовидные наросты леписфер трансформировались в более грубые шипы, а сами леписферы стали похожи на сферические агрегаты (глобулы) с частыми грубыми наростами.

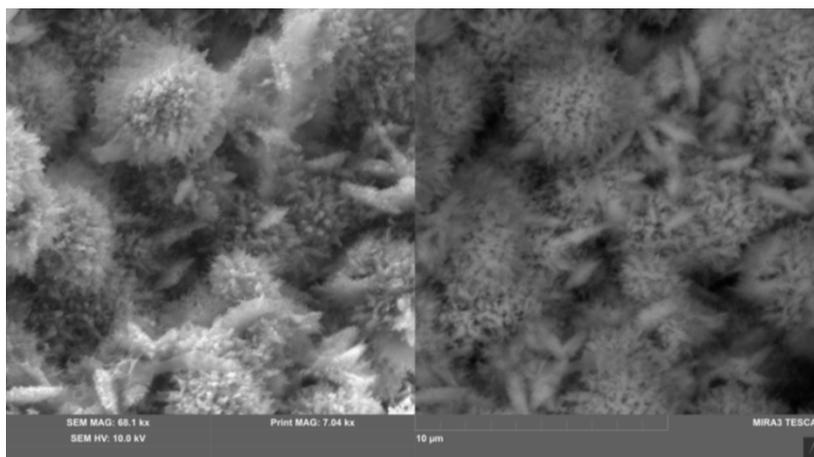
Дополнительно в пустотном пространстве между «ежиками» появились мелкие сноповидные агрегаты (шестоватых, игловидных обособлений), сложенные кремнеземом, по всей видимости, вторичным кварцем.

Относительно скв. 1311, средняя доля кварца по  $РСА_{общ}$  (см. табл. 1) в опоках скв. 520 составляет до 39 %, ОКТ-фазы — 45 % (в сумме — 84 %).

Ближние значения суммы кремнезема (скв. 1311 и 520), вероятно, являются результатом неравномерной кристаллизации ОКТ-фазы.



**Рис. 2. Микрокристаллы вторичного кварца — волосовидные наросты на леписферах ОКТ-фазы. Губкинский ЛУ. Скв. 1311. Стратон НБ1, гл. по бур. 788,43 м. Увеличение  $\times 50500$  (ООО «ТННЦ», Павлуткин И. Г., 2023).**

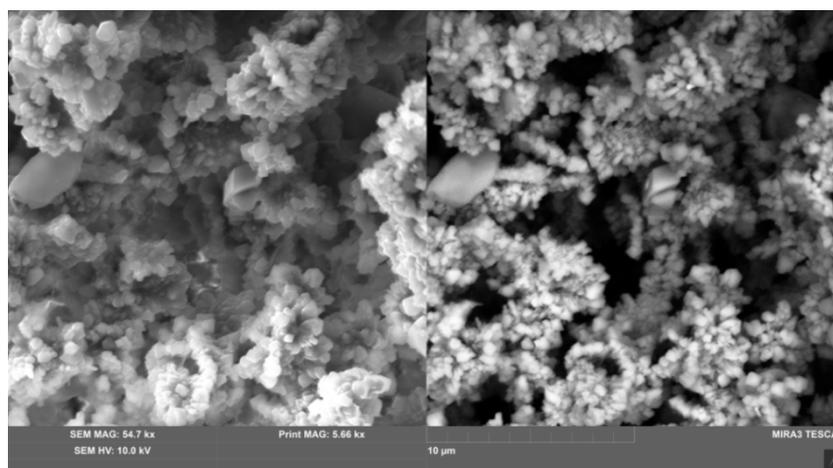


**Рис. 3. Изображения РЭМ. Северо-Комсомольский ЛУ. Стратон НБ1, гл. по бур. 992,24 м. Увеличение  $\times 7040$  (один ракурс разными методами) [10]**

При изучении в РЭМ пород хэяхинской пачки на западе ЗСП в разрезе скв. 6145 Ем-Ёговского ЛУ (увеличение более 5,5 тыс.) леписферные обособления ОКТ-фазы обнаружить не удалось (см. рис. 4). Но в отличие от скв. 1311 и 520 центральной части ЗСП широко представлены четковидные срастания (цепочки) и микродрозы микрокристаллов кремнезема, вторичного кварца. Средняя доля кварца по  $РСА_{общ}$  (см. табл. 1) в силицитах скв. 6145 — до 77–78 %, ОКТ-фаза не установлена.

Таким образом, на фоне близких значений суммарного кремнезема в хэяжинской пачке разных ЛУ Западной Сибири установлены контрастные аномалии пропорций ОКТ-фазы и кварца, даже для близкорасположенных скважин 1311 и 520.

Устойчивая ассоциация монтмориллонита, глауконита, ОКТ-фазы и цеолитов, а также близкие содержания суммарного кремнезема (и других химических компонентов) свидетельствуют о близких условиях накопления вещества. Другими словами, изначально илы/коллоиды характеризовались относительной однородностью и подобным составом, но со временем степень преобразования (старения) осадков распределилась на территории ЗСП крайне неравномерно, что отражает различное проявление процессов литогенеза, как уже было сказано выше.



*Рис. 4. Изображения РЭМ. Ем-Ёговский ЛУ. Скв. 6145. Пласт НБ1, гл. по бур. 861,45 м. Увеличение  $\times 5660$  (один ракурс разными методами) [10]*

### **Обсуждение**

Тонкозернистый вулканокластический пепловый материал, попадая в бассейн седиментации, растворяется и преобразуется в более устойчивые минеральные компоненты (камуфлированную пирокластику) [5]. Свидетельства разгрузки пепловых облаков (слои с камуфлированной пирокластикой) обнаружены в современных и древних толщах Русской плиты (РП). При изучении цеолитсодержащих средневожских (аналог баженовского горизонта ЗСП) горючих сланцев Заволжья установлена камуфлированная пирокластика — минеральная ассоциация (монтмориллонит, цеолиты, вулканическое стекло), косвенно свидетельствующая о влиянии на ход осадконакопления синхронных вулканических процессов [11]. Комплексное изучение вещественного состава верхнемеловых и палеоценовых стратон на востоке и юго-востоке РП показало повсеместное присутствие цеолитов, наряду с бентонитоподобным глинистым веществом и вулкани-

ческими стеклами, представляющих комплекс камуфлированной пироклаستي [6, 7, 12]. Наличие обломков полурастворившихся вулканических стекол и радиолярий [2], рассеянных глобул (леписфер) и сплошных кремнистых масс разной степени уплотненности [10] указывают на метастабильное состояние вещества и свидетельствуют о переходе в более устойчивое физико-химическое состояние.

Одним из механизмов образования опок является диагенетическое преобразование кислых пепловых частиц с полимеризацией кремнезема, сопровождающееся глинизацией и цеолитизацией илов. Кремневый гель является неустойчивой физико-химической субстанцией и подвергается постепенной кристаллизации с образованием сначала ОКТ-фазы, а затем халцедона и кварца. Процесс стадийного старения кремнистых пород, реконструированный Вон Радом с соавторами в 1978 году, объясняет отсутствие опок в геологических разрезах древнее мезозоя [7].

Для агрегата аморфного кремнезема (по сути опала) установлена серия основных ступеней превращения кремнезема (опал-А → опал-КТ → опаловидный халцедон → халцедон → кварц [13]), фиксирующая последовательность фаз (совместно или отдельно), закономерно сменяющих одна другую, как правило, в необратимом переходе в более стабильное состояние. Ступени образования минеральных фаз в условиях земной коры контролируются сложными цепными и каталитическими процессами, включающими реагенты, скорость реакций, катализаторы, промежуточные соединения. Механизм реакции определяет характер промежуточного вещества, переходное состояние системы, разность энергий начального и конечного состояний, соотношение исходной и производной фаз [13].

Процессы литогенеза кайнозойских первично осадочных кремневых илов/коллоидов (опалов) под влиянием температур, давления и времени проходят, как правило, три стадии. То есть фазовый переход аморфного опала-А в опал-кристобалит (ОКТ-фазу) и далее в халцедонмикрористаллический кварц. Темпы развития этого процесса зависят от контроля как физико-химических факторов, так и литологических (например, отношение глины/карбонаты) [14]. Скорости постседиментационного преобразования кайнозойских силицитов, как правило, определяются физико-химическими факторами (в частности, насыщением природных вод кремнеземом), а также литологическими условиями, приводящими либо к хемогенной седиментации, либо к пестрому составу осадков в зоне накопления с участием терригенного и вулканогенно-осадочного материала [12]. Но иногда стандартные закономерности не срабатывают.

Например, кремнистые отложения Пограничного бассейна (пиленгская свита миоценового возраста, о. Сахалин) принадлежат к образованиям, сформировавшимся в хемогенно-биогенных условиях развивающегося прогиба [13]. Кремнезем пиленгской свиты представлен ОКТ-фазой и халцедоном. Опал (коэффициент преломления,  $n = 1,46$ , изотропный) присут-

ствует во всех разностях пород. В строении пиленгской свиты породы с наиболее совершенной модификацией кремнезема (халцедонолиты) аномально расположены в верхней части разреза, а менее раскристаллизованные (опоковидные халцедонолиты) — в средней части свиты, опал же распространен по всему разрезу. Видимо, опал в разрезе представлен двумя генерациями — осадочным и заполняющим трещины [15]. Таким образом, процесс трансформации опала в халцедон под влиянием температуры и давления (с глубиной) не имел определяющего значения в кремнистых отложениях Пограничного бассейна.

Для стратона НБ1 Западной Сибири степень зрелости кремнезема зависит от площадного расположения ЛУ. Так, наибольшая степень кристаллизации ОКТ-фазы отмечена на Минховском (47 % кварца), Северо-Комсомольском (44 % кварца) и Ем-Ёговском (80 % кварца) ЛУ, то есть в целом к западу от зоны Колтогорско-Уренгойских рифтов. Можно добавить, что ОКТ-фаза в опоках НБ1 Приразломного ЛУ (расположенного к западу от зоны рифтов) также не установлена.

Таким образом, распределение минералов кремнезема в изученных отложениях стратона НБ1 Западной Сибири зависит от неравномерного проявления вторичного влияния (литогенетических фоновых и наложенных процессов). Дополнительно индикаторами воздействия этих процессов являются глинистые минералы (соотношение монтмориллонит/иллит), трансформация которых также позволяет изучать особенности постседиментационных изменений.

Известно, что под действием процессов литогенеза (по мере роста температуры и давления при погружении и перекрытии, то есть в верхней части земной коры) набухающие глины группы смектитов, в том числе монтмориллонита (М) постепенно трансформируются в гидрослюду (ГС, иллит). Следовательно, согласно нашим наблюдениям, на фоне относительно равных содержаний хлорита и каолинита пониженные содержания монтмориллонита (М) и повышенные доли иллита (ГС) могут быть свидетельством повышенной трансформации М в ГС.

В опоках и опоквидных силицитах на изображениях РЭМ устанавливается большое количество незаполненных пор. Наиболее крупные поры (до 4 мкм) треугольной и четырехугольной формы располагаются между правильными, без следов деформации, леписферами (глобулами) кремнезема (см. рис. 1, 2). Данная структура порового пространства отражает незначительное влияние вертикальной нагрузки на ее формирование, что подтверждается также ненарушенной формой леписфер кремнезема и высокой сохранностью полых скелетных остатков планктона. Таким образом, опоки хэяхинской пачки (глубины современного залегания 700–900 м), видимо, не подвергались заметному влиянию высоких температур и давления.

Сумма каолинита и хлорита варьирует от 5 до 18 % (11–13 %), максимальные содержания иллита (32, 40, 50 %) установлены на Береговом,

Ван-Ёганском и Северо-Тамаргинском ЛУ соответственно (табл. 2, рис. 5). Там же отмечаются относительно пониженные суммы монтмориллонита (М) и смешанно-слоистых образований (ССО) (49, 55 и 53 % соответственно). Наиболее вероятно, что подобные пропорции указывают на повышенную интенсивность литогенеза опок НБ1, вскрытых этими скважинами. На других ЛУ доли иллита (ГС) составляют не более 23 % (до 14–15 % на Русском и Губкинском), значения М — не ниже 60 % (до 73–76 % на Ем-Ёговском и Губкинском ЛУ (см. табл. 2, см. рис. 5)). Видимо, на этих участках процессы литогенеза проявились значительно слабее.

Следовательно, наиболее преобразованный кремнезем установлен в западной части ЗСП (Ем-Ёговский, Северо-Комсомольский и Минховский ЛУ; доля ОКТ-фазы составляет не более 40–45 % (см. табл. 2, см. рис. 5)). Но наиболее измененный монтмориллонит (М) — на юге и на востоке ЗСП (Северо-Тамаргинский, Ван-Ёганский и Береговой ЛУ; доля иллита — 23–50 % (см. табл., см. 2, рис. 5)). Иначе говоря, интенсивность процессов преобразования ОКТ-фазы и монтмориллонита характеризуется обратной пространственной зависимостью.

Таблица 2

**Средние содержания глинистых минералов в опоках стратона НБ1 по скважинам**

Литологическое описание	Стратиграфическая единица	Средние содержания глинистых минералов %						(М+ССО)/ГС	Набухаемость, %	ОКТ-фаза, %	Абсолютная отметка кровли пласта, м	Температура, °С	Палеотемпература, °С	Палеоглубина, м
		К	Х	ГС	ССО	ССО+М	М							
Скв. 2П, 3-Часельский ЛУ; по 13 обр.	НБ1	4	8	27	5	61	56	2	58	71	822	15	46	1244
Скв. 520, С-Комсомольский ЛУ; по 18 обр.	НБ1	6	9	23	4	62	58	3	60	45	976	27	48	1105
Скв. 85, Береговой ЛУ; по 19 обр.	НБ1	8	9	23	10	60	50	3	55	69	1068	23	50	1276
Скв. 9061, Ван-Ёганский ЛУ; по 7 обр.	НБ1	5	7	29	6	60	54	2	58	56	776	25	46	884
Скв. 105Н, Харампурский ЛУ; по 14 обр.	НБ1	5	9	31	5	56	51	2	54	68	952	27	50	1095
Скв. 59Р, С-Тамаргинский ЛУ; по 3 обр.	НБ1	0	0	50	50	50	0	1	68	79	808	36	71	823
Скв. 420, Приразломный ЛУ; по 3 обр.	НБ1	2	1	22	19	92	73	3	74	0	980	38	64	1000
Скв. 70, Минховский ЛУ; по 5 обр.	НБ1	2	8	21	5	69	64	3	66	40	851	14	47	1322
Скв. 1311, Губкинский ЛУ; по 9 обр.	НБ1	3	9	19	3	69	66	4	68	81	659	17	38	817
Скв. 5-05, Русский ЛУ; по 16 обр.	НБ1	8	8	13	3	71	68	6	70	69	606	9	41	1197
Скв. 68-14, Русский ЛУ; по 19 обр.	НБ1	9	9	15	3	66	63	4	65	67	606	9	41	1197
Скв. 6145, Ем-Ёговский ЛУ; по 9 обр.	НБ1	1	6	14	4	80	76	6	78	0	744	32	60	829

Следовательно, фактически установлена различная степень реакции ОКТ-фазы и М на относительное увеличение температуры и давления при погружении. Необходимо отметить, что погружение было в целом на относительно небольшую глубину и относительно непродолжительным (возраст верхнемеловых отложений порядка 60–70 млн лет), вероятно, поэтому следы стадияльных (диагенез-катагенез) преобразований проявлены не столь интенсивно.

Известно, что зрелость кремнезема может достигаться разными путями, не только при погружении и уплотнении. Время преобразования кремнезема хэяхинской пачки одинаково для центральной части ЗСП, Ем-Ёговского и Приразломного ЛУ, но состояние опала (ОКТ-фазы) на этих территориях существенно различное. Значит, кроме погружения и времени на вариации темпов старения повлияли дополнительные факторы. Также известно, что в открытых (поверхностных, экзогенных) системах трансформация опала (ОКТ-фазы) в кварц с течением времени может проходить в результате простого процесса старения [16]. Из таблицы 2 видно, что ЛУ Западной Сибири по степени соотношения набухающих глин (М) и гидрослюды (ГС) заметно подразделяются на две группы (различия слабо выраженные, но отчетливо заметные).

В таблице 3 показано, что перечисленные в таблице 2 параметры, как правило, не обладают значимой корреляционной зависимостью, или противоречат ожиданию. Например, отрицательная корреляция ОКТ-фазы и суммы (ССО+М), то есть чем больше ОКТ-фазы, тем меньше набухающих глин, а должно быть наоборот.

Таблица 3

**Степень корреляции параметров, показанных в таблице 2**

	Содержание глинистых минералов %						(М+ССО)/ГС	Набухаемость, %	ОКТ-фаза, %	Абсолютная отметка кровли пласта, м	Температура, °С	Палеотемпература, °С	Палеоглубина, м	
	К	Х	ГС	ССО	ССО+М	М								
Содержание глинистых минералов %	К	<b>1,00</b>	0,66	-0,44	-0,52	-0,19	0,25	0,18	-0,49	0,39	-0,10	-0,61	-0,67	0,57
	Х	0,66	<b>1,00</b>	-0,55	-0,85	-0,23	0,45	0,25	-0,52	0,35	-0,13	-0,71	-0,88	0,49
	ГС	-0,44	-0,55	<b>1,00</b>	0,82	-0,64	-0,92	-0,88	-0,31	0,35	0,32	0,52	0,57	-0,31
	ССО	-0,52	-0,85	0,82	<b>1,00</b>	-0,26	-0,83	-0,53	0,19	0,10	0,18	0,59	0,79	-0,39
	ССО+М	-0,19	-0,23	-0,64	-0,26	<b>1,00</b>	0,75	0,67	0,72	-0,79	-0,07	0,14	0,12	-0,08
	М	0,25	0,45	-0,92	-0,83	0,75	<b>1,00</b>	0,74	0,28	-0,52	-0,16	-0,32	-0,48	0,22
(М+ССО)/ГС	0,18	0,25	-0,88	-0,53	0,67	0,74	<b>1,00</b>	0,66	-0,36	-0,58	-0,40	-0,33	0,00	
Набухаемость, %	-0,49	-0,52	-0,31	0,19	0,72	0,28	0,66	<b>1,00</b>	-0,58	-0,43	0,20	0,37	-0,43	
ОКТ-фаза, %	0,39	0,35	0,35	0,10	-0,79	-0,52	-0,36	-0,58	<b>1,00</b>	-0,25	-0,50	-0,46	0,16	
А. о. кровли пласта, м	-0,10	-0,13	0,32	0,18	-0,07	-0,16	-0,58	-0,43	-0,25	<b>1,00</b>	0,57	0,41	0,23	
Температура, °С	-0,61	-0,71	0,52	0,59	0,14	-0,32	-0,40	0,20	-0,50	0,57	<b>1,00</b>	0,86	-0,58	
Палеотемпература, °С	-0,67	-0,88	0,57	0,79	0,12	-0,48	-0,33	0,37	-0,46	0,41	0,86	<b>1,00</b>	-0,41	
Палеоглубина, м	0,57	0,49	-0,31	-0,39	-0,08	0,22	0,00	-0,43	0,16	0,23	-0,58	-0,41	<b>1,00</b>	

Напомним, что значительная часть ГС образуется за счет трансформации М в литогенезе, который, по всей видимости, был проявлен до стадии начального катагенеза (незначительные глубины погружения и относительно ограниченное время существования погружения). По опыту работ на территории ЗСП, количество примеси ГС терригенного генезиса сопоставимо с долями хлорита или каолинита, то есть, составляет первые проценты).

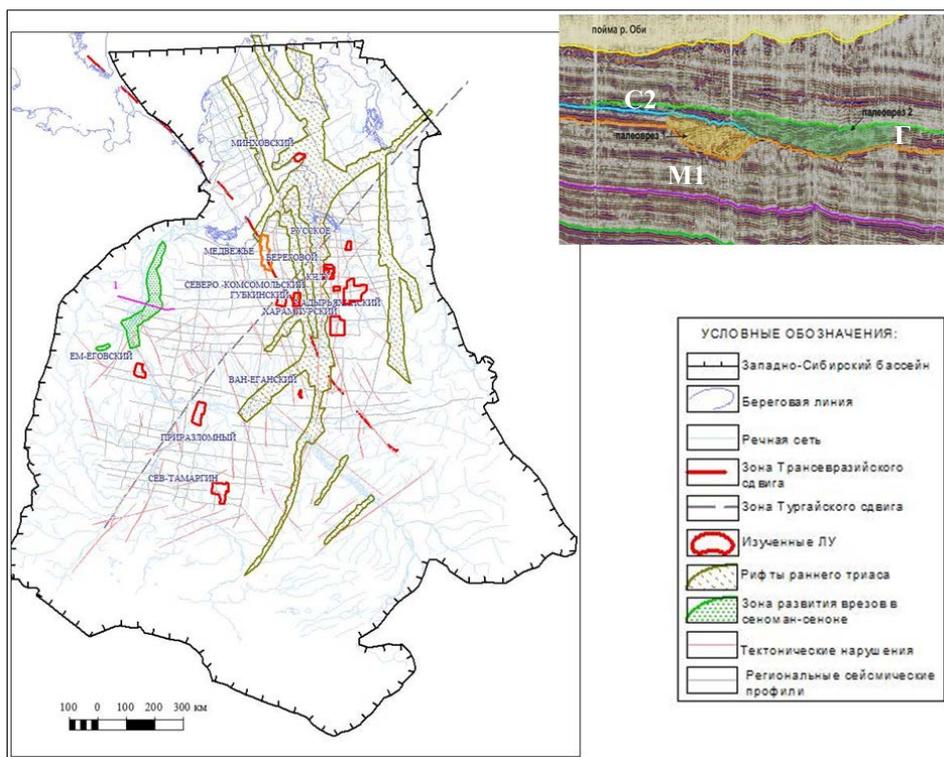
Литогенетические фоновые преобразования осадка в породе могут быть заметно усилены влиянием дополнительного прогрева в зонах глубинных разломов (эпигенетическое наложение).

Расположение участков с повышенной степенью трансформации М в стратоне НБ1 в пределах Западной Сибири позволяет констатировать, что они находятся в непосредственной близости к зоне Колтогорско-Уренгойских рифтов (на участке пересечения зонами Трансевразийского и Тургайского сдвигов) и, по всей видимости, испытали влияние разломов в течение эпизодов их активизации.

Распределение долей ОКТ-фазы и соотношения глин образуют, как правило, неоднородные проявления. Так, на некоторых участках с повышенной трансформацией М (вблизи разломов) содержания ОКТ-фазы сохраняют относительно высокие значения (например, 3-Часельский, Береговой и Харампурский ЛУ), возможно, за счет вторичного опала [1]. С другой стороны, на С-Комсомольском и Ван-Ёганском ЛУ наряду с заметным изменением состава глин отмечаются пониженные доли ОКТ-фазы. И наоборот, на Ем-Ёговском и Приразломном ЛУ, где отмечены низкие степени трансформации М в ГС, ОКТ-фаза отсутствует совсем (по всей видимости, в результате полной кристаллизации аморфного кремнезема).

Следовательно, зависимости изменения глин и степени кристаллизации ОКТ-фазы зачастую обусловлены различным соотношением влияющих факторов. Как уже было сказано, при литогенезе (под давлением и при повышении температуры) набухающие глины, отдавая воду, в определенный момент (прогрев до 100 °С) могут утратить способность к пептизации (возвращению способности вмещать и удерживать молекулы воды между слоями кристаллической решетки), при этом глинистый минерал набухающего типа становится ненабухающим слоистым алюмосиликатом — гидрослюдой/иллитом. В нашем случае именно соотношение монтмориллонита и гидрослюды наиболее достоверно отражает степень трансформации первичной набухающей глины. В условиях небольших глубин погружения дополнительный прогрев, приводящий к повышенной трансформации монтмориллонита, вероятно, обеспечивается подтоком гидротермальных растворов вдоль глубинных разломов, например в зонах Колтогорско-Уренгойских рифтов и/или Трансевразийского сдвига (см. рис. 5).

Известно, что «в поверхностных условиях опал относительно быстро дегидратируется с образованием кристобалита, тридимита, в конечном счете переходя в кварц» [17]. Подобный сценарий, вероятно, может объяснить 100 % кристаллизацию ОКТ-фазы в стратоне НБ1 на Ем-Ёговском и Приразломном ЛУ. С учетом альтернативного механизма старения опала, можно вполне обоснованно проинтерпретировать разницу минеральных фаз в опоках стратона НБ1 на Ем-Ёговском и Приразломном ЛУ.



**Рис. 5. Схематичная карта основных разрывных нарушений на территории Западной Сибири.** Красные контуры — ЛУ; серый пунктир — Тургайский сдвиг; красный пунктир — Трансевразийский сдвиг; желто-зеленый контур — зона Колтогорско-Уренгойских рифтов (ООО «ТННЦ», 2024). С2 — кровля кампана; Г — кровля сеномана; М1 — кровля альба. Зеленый контур — зона русловых врезов среднего маастрихта; сиреневая линия — положение временного разреза 2D [18]

Стратон НБ1 устойчиво распознается по материалам ГИС (минимум по гамма- и плотностному каротажу, повышенные сопротивления), по положению в разрезе и по результатам анализа керна (доля  $\text{SiO}_2$  составляет 85–95 %, минимальные значения для породообразующих и микрокомпонентов, изотропность в скрещенных николях и т. д.). Но на изображениях РЭМ (для стратона НБ1 на Ем-Ёговском (см. рис. 4) и Приразломном ЛУ) не установлены леписферы кремнезема, весьма характерные для разрезов НБ1 в других скважинах (см. рис. 1, 2). На изображениях РЭМ силицитов Ем-Ёговского ЛУ хорошо различаются форменные пустоты (кремнесферы) по скелетным остаткам радиолярий, частично заполненные четковидными агрегатами (цепочками) гранулированных кристаллитов кварца, аналогично леписферам ОКТ-фазы, заполняющим форменные пустоты по диатомеям и радиоляриям (см. рис. 1, 2).

По данным  $\text{PSC}_{\text{общ}}$  в силицитах НБ1 Ем-Ёговского ЛУ содержание ОКТ-фазы не отмечается, а в разрезе НБ1 Губкинского ЛУ доля ОКТ-фазы

составляет до 85 %. Зато содержание кварца для НБ1 Ем-Ёговского ЛУ в среднем до 80 %, на Губкинском ЛУ — всего 7–9 %.

Теоретически высокая степень кристаллизации ОКТ-фазы в Ем-Ёговском разрезе должна сопровождаться повышенной степенью трансформации М в ГС. Но на самом деле средняя доля ГС не превышает 20 % (аномалии ГС в других скважинах достигают 33–47 %), что вполне сопоставимо со слабым проявлением фонового литогенеза.

Следовательно, тезис о переходе в поверхностных условиях опала в кварц позволяет предположить проявление посткампанского (локального по времени) эпизода субаэральной экспозиции территории как минимум Ем-Ёговского и Приразломного ЛУ. Находясь в условиях субаэральной экспозиции, опоки стратона НБ1 под влиянием экзогенных факторов (суточные и сезонные колебания температуры, влажности, освещенности и др.) испытали полную дегидратацию вплоть до окончательного перехода в кристаллическую форму кремнезема ( $\alpha$ -кварц), то есть превратились во вторичные силициты по опокам. Кроме того, для выделений глауконита характерны признаки выветривания в виде радужных неконтрастных каемок красновато-бурого цвета в скрещенных николях. Монтмориллонит при этом, в отсутствие значительного погружения, перекрытия и формирования стрессовых значений температуры и давления, не испытал в заметной степени процессов трансформации.

Следовательно, возможно допустить, что в посткампанское время, как минимум в области Ем-Ёговского и Приразломного ЛУ, относительно кратковременно существовали субаэральные условия развития территории, с выходом коньяк-сантонских отложений в надводные обстановки (выше уровня западносибирского бассейна) или в близ-поверхностные условия с резким изменением химизма среды. На рисунке 5 приведен временной разрез вдоль широтного профиля 2D в западной части Западной Сибири [18].

В процессе высокоточной обработки сейсмических 2D-данных были выделены и частично закартированы зоны вреза в районе современной долины р. Обь вблизи границы мел-палеоген (ганькинский горизонт, средний маастрихт; выше поверхности С2).

Напомним, что при проведении региональных работ по глинисто-кремнистым отложениям верхнего мела (над сеноманом) ЗСП были выделены 4 сейсмостратиграфических комплекса (ССК), в том числе ганькинский [19]. С учетом ГИС и сеймики были построены карты общих толщин отдельных ССК. На рисунке 6 показано асимметричное расположение общих толщин ганькинского ССК (маастрихтского возраста). Максимальные толщины (до 300 м) с относительно резкой границей (с высоким градиентом роста) локализованы на севере Западной Сибири, северо-восточнее зоны Траневразийского сдвига [2].

Увеличенные в 3 раза на северо-востоке толщины ганькинского ССК (см. рис. 6) аналогично более изученным нижележащим отложениям нижнеберезовского и верхнеберезовского ССК объясняются наличием локального тела алевроито-песчаников среднемаастрихтского возраста в толще преимущественно глинистых отложений маастрихта (по данным скважин опорного бурения). Добавим, что авторы и раньше прогнозировали эпизод регрессии в среднем маастрихте аналогично среднему кампану (алевролиты стратона ВБ1) и верхнему коньяку (алевролиты стратона НБ3) [2]. Публикация [18] подтвердила предположение о регрессивном развитии территории Западной Сибири в среднем маастрихте.

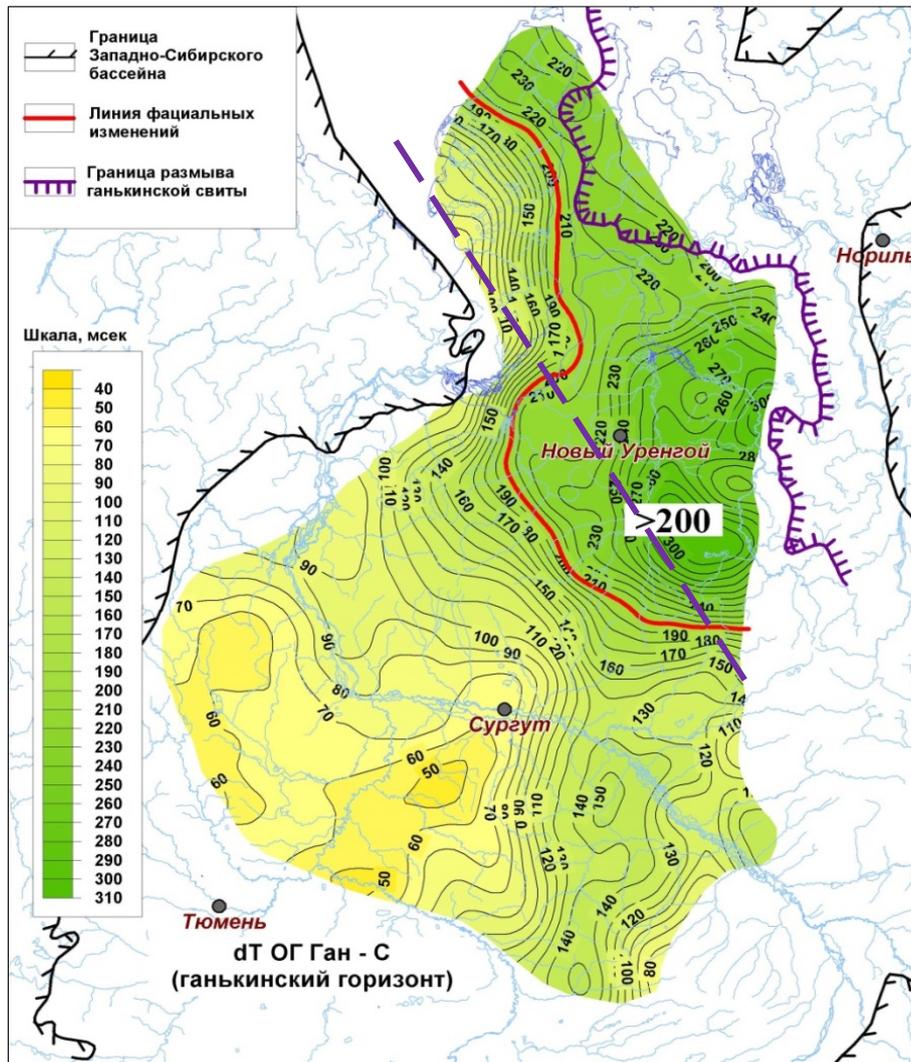


Рис. 6. Схематическая карта общих толщин ганькинского горизонта; на северо-востоке мощность составляет до 300 м [19].  
Сиреневый пунктир — зона Трансевразийского сдвига

Кроме этого, с определенной долей уверенности можно предположить, что в течение эпизода регрессии осадконакопление проходило преимущественно на северо-востоке ЗСП с накоплением алеврито-песчаных комплексов.

На юго-западе, по всей видимости, в это время существовали надводные обстановки (субаэральная экспозиция), и происходило формирование врезанных форм рельефа (русел и долин флювиальных потоков; прообраз современной р. Обь).

Сравнивая рисунки 5 и 6, можно отметить, что врезы палео-Оби (как Ем-Ёговский и Приразломный ЛУ) расположены к юго-западу от поля распространения увеличенных толщин маастрихта, то есть южнее зоны Траневразийского сдвига.

Следовательно, неравномерное распределение степени преобразования смектитов в иллит и опала в кварц, несовпадающее с глинами, вполне объяснимо с точки зрения двойственной природы трансформации кремнезема, а также наличием следов субаэральной экспозиции в среднем маастрихте на территории к юго-западу от поля аномальных толщин ганькинского ССК [18].

### **Выводы**

1. Процесс кристаллизации аморфного кремневого вещества может протекать в условиях относительно изолированной системы (при погружении и перекрытии вышележащими отложениями, за счет преимущественно литогенетических факторов — температуры, давления, глубинных растворов и пр.), или в надводных условиях открытой системы (в обстановках субаэральной экспозиции за счет влияния экзогенных факторов — колебаний освещенности, влажности, суточных и сезонных температур и т. д.).

2. В результате комплексного анализа накопленных данных установлено, что степень кристаллизации опала в изучаемых отложениях Ем-Ёговского и Приразломного ЛУ обусловлена экспозицией их в субаэральных условиях и быстрой (сотни — тысячи лет) дегидратацией аморфного кремнезема с образованием кварца.

3. Эпизод регрессии в среднем маастрихте Западной Сибири сопровождался формированием обстановок субаэральной экспозиции в западной и юго-западной части территории с выходом кремнистых отложений коньяк-сантонского возраста на уровень субаэральной экспозиции и, как следствие, полной трансформацией ОКТ-фазы в кварц.

### **Список источников**

1. Хэяхинская пачка опок и перекрывающие кремнисто-глинистые отложения (верхний мел, Западная Сибирь). Особенности строения / А. И. Кудама-нов, Т. М. Карих, С. Е. Агалаков, В. А. Маринов. – DOI 10.30713/2413-5011-2019-11(335)-21-30. – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 11. – С. 21–30.

2. Новые находки пирокластики в верхнемеловых отложениях Западной Сибири / Т. М. Карих, А. И. Кудаманов, С. Е. Агалаков, В. А. Маринов. – DOI 10.31087/0016-7894-2020-4-19-28. – Текст : непосредственный // Геология нефти и газа. 2020. – № 4. – С. 19–28.
3. Следы тектонического контроля осадконакопления в туроне Западной Сибири / А. И. Кудаманов, С. Е. Агалаков, В. А. Маринов [и др.]. – DOI 10.30713/2413-5011-2020-10(346)-12-21. – Текст : непосредственный // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2020. – № 10. – С. 12–21.
4. Тихомиров, П. Л. Меловой окраинно-континентальный магматизм Северо-Востока Азии и вопросы генезиса крупнейших фанерозойских провинций кремнекислого вулканизма : специальность 25.00.01 «Общая и региональная геология» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Тихомиров Петр Леонидович. – Москва, 2018. – 43 с. – Место защиты: Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – Текст : непосредственный.
5. Коссовская, А. Г. Генетические типы цеолитов стратифицированных формаций / А. Г. Коссовская. – Текст : непосредственный // Литология и полезные ископаемые. – 1975. – № 2. – С. 23–44.
6. Зорина, С. О. Следы пирокластики в сантон-кампанских отложениях разреза «Вишневое» (Среднее Поволжье) / С. О. Зорина, Н. И. Афанасьева, А. В. Жабин. – Текст : непосредственный // Литосфера. – 2012. – № 3. – С. 3–13.
7. Зорина, С. О. «Камуфлированная» пирокластика в верхнемеловых-миоценовых толщах юго-востока Русской плиты / С. О. Зорина, Н. И. Афанасьева. – Текст : непосредственный // Доклады Академии Наук. – 2015. – Т. 463, № 4, – С. 443–445.
8. Кудаманов, А. И. Следы проявления вулканогенно-гидротермальных процессов в глинисто-кремнистых отложениях верхнего мела Западной Сибири / А. И. Кудаманов, Т. М. Карих. – Текст : электронный // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2023. – Т. 18, № 1. – URL: [https://www.ngtp.ru/upload/iblock/2c0/4\\_2023.pdf](https://www.ngtp.ru/upload/iblock/2c0/4_2023.pdf).
9. Типизация глинисто-кремнистых отложений березовской свиты (на примере скважин Харампурского месторождения) / Е. С. Климова, К. Н. Чертина, М. А. Александров [и др.]. – DOI 10.24930/1681-9004-2023-23-2-197-208. – Текст : непосредственный // Литосфера. – 2023. – Т. 23, № 2. – С. 197–208.
10. Кудаманов, А. И. Микроскопические особенности строения глинисто-кремнистых отложений верхнего мела Западной Сибири, на примере пласта НБ1 / А. И. Кудаманов, И. Г. Павлуткин, Т. М. Карих. – DOI 10.24412/2076-6785-2023-8-62-69. – Текст : непосредственный // Экспозиция Нефть Газ. – 2023. – № 8 (101). – С. 62–69.
11. Кристаллохимия и генезис глауконита из разреза «Меловатка» (сеноман, юго-восток Русской плиты) / Н. И. Афанасьева, С. О. Зорина, А. М. Губайдулина [и др.]. – Текст : непосредственный // Литосфера. – 2013. – № 2. – С. 65–75.
12. Япаскурт, О. В. Генетическая минералогия и стадийный анализ процессов осадочного породо- и рудообразования : учебное пособие / О. В. Япаскурт. – Москва : ЭСЛАН, 2008. – 356 с. – Текст : непосредственный.

13. Нассонова, Н. В. Вероятные модели дифференциации литологического состава пласта НБ1 нижнеберезовской подсвиты / Н. В. Нассонова, А. И. Кудаманов, Л. Р. Дистанова. – Текст : электронный // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2023. – Т. 18, № 4. – URL: [http://www.ngtp.ru/rub/2023/42\\_2023.html](http://www.ngtp.ru/rub/2023/42_2023.html).
14. Бурлин, Ю. К. Фазовые переходы кремнезема в нефтеносных толщах / Ю. К. Бурлин, И. И. Плюснина. – Текст : непосредственный // Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология. – 2008. – № 3. – С. 24–31.
15. Выполнить прогноз и оценить ресурсы УВ зон высокочемких коллекторов в кайнозойских кремнистых отложениях Охотского моря : отчет по объекту. Глава 2 / Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт. – Санкт-Петербург, 2009. – № 643м-08-37. – Текст : непосредственный.
16. Емельянов, Е. М. Барьерные зоны в океане = The barrier zones in the ocean : осадко- и рудообразование, геоэкология / Е. М. Емельянов ; Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН. – Калининград : Янтарная сказка, 1998. – 410 с.
17. Денискина, Н. Д. Благородные опалы, их синтез и генезис в природе / Н. Д. Денискина, Д. В. Калинин, Л. К. Казанцева ; под редакцией А. А. Годовикова. – Новосибирск : Наука, 1980. – 65 с. – Текст : непосредственный.
18. Тригуб, А. В. Особенности строения и перспективы нефтегазоносности мелового мегакомплекса в рамках западной периферии Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции / А. В. Тригуб. – Текст : непосредственный // ПроГРРесс '23. Геологоразведка как бизнес : сборник материалов 3-й международной научно-практической конференции. – Москва : Геомодель, 2023. – С. 46–49.
19. Агалаков, С. Е. Геология и газоносность верхнемеловых надсенонанских отложений Западной Сибири : специальность 25.00.12 «Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений» : диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Агалаков Сергей Евгеньевич. – Тюмень, 2020. – 221 с. – Текст : непосредственный.

### **References**

1. Kudamanov, A. I., Karikh, T. M., Agalakov, S. E., & Marinov, V. A. (2019). Kheyakhinskaya pack of flasks and overlapping siliceous-clayish deposits (the upper cretaceous, Western Siberia). Structural specific features. *Geology, geophysics, and development of oil and gas fields*, (11), pp. 21-30. (In Russian). DOI: 10.30713/2413-5011-2019-11(335)-21-30
2. Karikh, T. M., Kudamanov, A. I., Agalakov, S. E., & Marinov, V. A. (2020). New pyroclastics occurrences in upper cretaceous deposits of Western Siberia. *Russian oil and gas geology*, (4), pp. 19-28. (In Russian). DOI: 10.31087/0016-7894-2020-4-19-28
3. Kudamanov, A. I., Agalakov, S. E., Marinov, V. A., Novoselova, M. Yu., Karikh, T. M., & Glukhov, T. V. (2020). Traces of tectonic control sedimentations accumulated during the turonian age in the Western Siberia. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, (10), pp. 12-21. (In Russian). DOI: 10.30713/2413-5011-2020-10(346)-12-21
4. Tikhomirov, P. L. (2018). Melovoy okrainno-kontinental'nyy magmatizm Severo-Vostoka Azii i voprosy genezisa krupneyshikh fanerozoyskikh provintsiy kremnekislogo vulkanizma. Avtoref. diss. ... doct. geol.-mineral. nauk. Moscow, 43 p. (In Russian).

5. Kossovskaya, A. G. (1975). Geneticheskie tipy tseolitov stratifitsirovannykh formatsiy, *Litologiya i poleznye iskopaemye*, (2), pp. 23-44. (In Russian).
6. Zorina, S. O., Afanasyeva, N. I., & Zhabin, A. V. (2012). Sledy piroklastiki v santon-kampanskikh otlozheniyakh razreza "Vishnevoe" (Srednee Povolzh'e), *Lithosphere*, (3), pp. 3-13. (In Russian).
7. Zorina, S. O., & Afanas'eva, N. I. (2015). "Camouflaged" pyroclastic material in the upper cretaceous-miocene deposits of the southeastern East European craton. *Doklady Earth Sciences*, 463(2), pp. 770-772. (In Russian).
8. 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*, 18(1). (In Russian). Available at: [https://www.ngtp.ru/upload/iblock/2c0/4\\_2023.pdf](https://www.ngtp.ru/upload/iblock/2c0/4_2023.pdf)
9. Klimova, E. S., Chertina, K. N., Aleksandrov, 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), 23(2), pp. 197-208. (In Russian). DOI: 10.24930/1681-9004-2023-23-2-197-208
10. Kudamanov, A. I., Pavlutkin, I. G., & Karikh, T. M. (2023). 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*, (8), pp. 62-69, (In Russian). DOI: 10.24412/2076-6785-2023-8-62-69
11. Afanas'eva, N. I., Zorina, S. O., Gubaydullina, A. M., Naumkina, N. I., Suchkova, G. G. (2013). Kristallokhimiya i genezis glaukonita iz razreza "Melovatka" (senoman, yugo-vostok Russkoy plity). *Lithosphere*, (2), pp. 65-75. (In Russian).
12. Yapaskurt, O. V. (2008). Geneticheskaya mineralogiya i stadial'nyy analiz protsessov osadochnogo porodo- i rudoobrazovaniya. Moscow, ESLAN Publ., 356 p. (In Russian).
13. Nassonova, N. V., Kudamanov, A. I., & Distanova, L. R. (2023). Probable models of lithological composition within NB1 reservoir of nizhneberezov sub-formation. *Petroleum geology. Theoretical and applied studies*, 18(4). (In Russian). Available at: [http://www.ngtp.ru/rub/2023/41\\_2023.html](http://www.ngtp.ru/rub/2023/41_2023.html)
14. Burlin, Yu. K., & Plyusnina, I. I. (2008). Fazovye perekhody kremnezema v neftenosnykh tolshchakh. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 4: Geologia*, (3), pp. 24-31. (In Russian).
15. Vypolnit' prognoz i otsenit' resursy UV zon vysokoemkikh kollektorov v kaynozoykskikh kremnistykh otlozheniyakh Okhotskogo morya: otchet po ob'ektu. Glava 2. № 643m-08-37. (2009). St. Petersburg. (In Russian).
16. Emelyanov, E. M. (1998). The barrier zone in the ocean: osadko- i rudoobrazovanie, geoekologiya. Kaliningrad, Yantarnaya skazka Publ., 410 p. (In Russian).
17. Deniskina, N. D., Kalinin, D. V., & Kazantseva, L. K. (1980). Blagorodnye opaly, ikh sintez i genezis v prirode. Novosibirsk, Nauka Publ., 65 p. (In Russian).
18. Trigub, A. V. (2023). Features of the structure and prospects of oil and gas potential of the cretaceous megacomplex within the western periphery of the West Siberian oil and gas province. *ProGRRes '23. Geologorazvedka kak biznes: sbornik materialov 3<sup>rd</sup> mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow, Geomodel Publ., pp. 46-49. (In Russian).

19. Agalakov, S. E. (2020). Geologiya i gazonosnost' verkhnemelovykh nad-senomanskikh otlozheniy Zapadnoy Sibiri. Diss. ... doct. geol.-mineral. nauk. Tyumen, 221 p. (In Russian).

**Информация об авторах / Information about the authors**

**Кудаманов Александр Иванович**, кандидат геолого-минералогических наук, эксперт, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень, aikudamanov@tnnc.rosneft.ru

**Alexander I. Kudamanov**, Candidate of Geology and Mineralogy, Expert, Tyumen Petroleum Research Center LLC, aikudamanov@tnnc.rosneft.ru

**Карих Татьяна Михайловна**, главный специалист ЦИК, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

**Tatyana M. Karikh**, Chief Specialist of CEC, Tyumen Petroleum Research Center LLC

**Агалаков Сергей Евгеньевич**, доктор геолого-минералогических наук, старший эксперт, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

**Sergey E. Agalakov**, Doctor of Geology and Mineralogy, Senior Expert, Tyumen Petroleum Research Center LLC

**Павлуткин Илья Геннадьевич**, главный специалист ЦИК, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

**Ilya G. Pavlutkin**, Chief Specialist of CEC, Tyumen Petroleum Research Center LLC

Статья поступила в редакцию 07.05.2024; одобрена после рецензирования 29.05.2024; принята к публикации 11.06.2024.

The article was submitted 07.05.2024; approved after reviewing 29.05.2024; accepted for publication 11.06.2024.