

DOI: 10.17353/2070-5379/42_2023

УДК 552.143:552.55:551.763.33(571.1)

Нассонова Н.В., Кудаманов А.И., Дистанова Л.Р.

ООО «Тюменский нефтяной научный центр» (ООО «ТННЦ»), Тюмень, Россия, NVNassonova@tnnc.rosneft.ru, aikudamanov@tnnc.rosneft.ru, lrdistanova@tnnc.rosneft.ru

ВЕРОЯТНЫЕ МОДЕЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛАСТА НБ1 НИЖНЕБЕРЁЗОВСКОЙ ПОДСВИТЫ

В процессе региональных работ в пределах верхнего мела Западно-Сибирской плиты охарактеризованы условия и обстановки осадконакопления опок пласта НБ1 нижнеберёзовской подсвиты коньяк-сантонского возраста. Результаты лабораторных исследований керн показали неравномерное распределение по площади значений отношения аморфного (опал-кристобалит-тридимит) и кристаллического (кварц) кремнезёма – основных компонентов (в сумме до 80-85% и более) в составе опок, что является результатом «старения» аморфных форм (опал, опал-кристобалит-тридимит) диоксида кремния и преобразования его в кристаллический кварц. Установлено, что при прочих равных условиях опоки с повышенным содержанием кварца характеризуются улучшенной проницаемостью относительно опок с высокой долей опал-кристобалит-тридимитовой фазы. Процесс постепенного «старения» опок может протекать регионально - по мере погружения осадка и перекрытия его более молодыми отложениями, под действием постепенно нарастающих температуры и давления. На участках с повышенным подтоком глубинного тепла (зоны глубинных разломов) скорость кристаллизации аморфного кремнезёма - относительно более интенсивная. В пределах Западной Сибири установлены зоны региональных сдвигов (Трансевразийского и Тургайского), рифтов (основная зона - Колтогорско-Уренгойская) и рифтоподобных структур. Наиболее вероятным дополнительным источником тепла являются зоны региональных сдвигов и оперяющих разломов.

Ключевые слова: *верхний мел, нижнеберёзовская подсвита, опока, опал-кристобалит-тридимит, кварц, Трансевразийский сдвиг, Тургайский сдвиг, Колтогорско-Уренгойские рифты, Западно-Сибирская плита.*

Введение

Верхнемеловые неравномерно глинисто-кремнистые отложения нижнеберёзовской подсвиты коньяк-сантонского возраста имеют региональное распространение в пределах почти всего Западно-Сибирского осадочного бассейна (более 2 млн. км², за исключением восточных, северо-восточных и западных окраин). В 2016-2018 гг. в этих отложениях впервые открыты залежи газа на Медвежьем и Харампурском месторождениях. В строении разреза нижнеберёзовской подсвиты выделены пласты (снизу вверх): НБ4, НБ3, НБ2 и НБ1 [Кудаманов, Агалаков, 2018]. По мнению одних исследователей [Кудаманов, Агалаков, 2018], глинисто-кремнистые отложения (илы/коллоиды) нижнеберёзовской подсвиты имеют биогенно-хемогенное происхождение автохтонного типа с опесчаниванием вдоль восточной окраины Западно-Сибирской плиты (ЗСП). В работе других авторов [Рыбьяков и др., 2020] так

же сделан вывод о бактериально-хемогенном характере происхождения отложений нижеберёзовской подсвиты. Глинистые минералы нижеберёзовской подсвиты представлены преимущественно смектитами, менее встречаются гидрослюда/иллит (продукт трансформации смектитов) и глауконит (редко до 10-20%). Сумма каолинита и хлорита (терригенного происхождения) не превышает 10-15%, обычно меньше. Смектиты, иллит и аморфный кремнезём образуют агрегатные криптокомпонентные комплексы; отдельные компоненты комплекса под оптическим микроскопом не диагностируются – разрешающая способность оптического микроскопа позволяет лишь оценить общий объём агрегатного комплекса, т.е. матрицы породы.

При проведении комплексного анализа лабораторных данных использовались современные стратиграфические разбивки (с учётом новых палеонтологических, палинологических и палеомагнитных данных), разработанные в ООО «ТННЦ».

Несмотря на многолетнюю историю исследований природных глинисто-кремнистых систем (илов/коллоидов и их производных продуктов – опок, силицитов и пр.), до сих пор не существует однозначных представлений в отношении факторов, влияющих на происхождение (например, в гигантских масштабах ЗСП) и механизмы преобразования глинисто-кремнистых пород. Также актуальной на сегодняшний день остаётся фактическая обоснованность возможных перспектив пластов НБ3 и НБ1 (коньяк-сантонского возраста).

Методики изучения и полученные результаты

Результаты исследований керна Медвежьего месторождения с помощью адсорбционно-структурного анализа (АСА), применяемого при изучении пористых структур в химии, показали, что в породах нижеберёзовской подсвиты наблюдается тесная положительная связь между содержанием кварца в породе и суммарной долей капилляров и макропор в пустотном пространстве. Движение флюидов в первую очередь происходит именно по капиллярным и наиболее крупным порам субкапиллярной размерности (макропорам), с которыми и связываются повышенные значения проницаемости. При описании результатов АСА использована количественная классификация пор по размерам (диаметрам), принятая Международным союзом теоретической и прикладной химии (IUPAC) [Хабибуллин и др., 2018].

Нарастающий объём результатов изучения литолого-минералогического состава, в том числе методом рентгено-структурного анализа порообразующих компонентов породы (РСАобщ) пласта НБ1, в режиме мониторинга служит уточнению (детализации) представлений и выводов специалистов-литологов. Методом РСАобщ устанавливают количественное содержание основных порообразующих компонентов – кварца, полевых

шпатов, цеолита, карбонатов, пирита и опал-кristобалит-тридимита (ОКТ-фазы). Также методом РСАобщ определяется содержание на породу суммы глинистых минералов.

По данным РСАобщ, в опоках западной части ЗСП (рис. 1) в составе породообразующих компонентов установлено значительное содержание кварца (40-80%). Под микроскопом доля визуального различимого (обломочного – терригенного и пирокластического) кварца составляет, как правило, не более 5-7%. Со всей очевидностью, криптокристаллический кварц (не видимый под микроскопом, но регистрируемый рентгеновским методом) является результатом постепенной кристаллизации аморфного кремнезёма (ОКТ-фазы), седиментогенно входящего в состав глинисто-кремнистых илов-коллоидов [Бурлин, Плюсина, 2008]. Значения параметров РСАобщ (в %) и распределение их на территории ЗСП приведены на рис. 1.

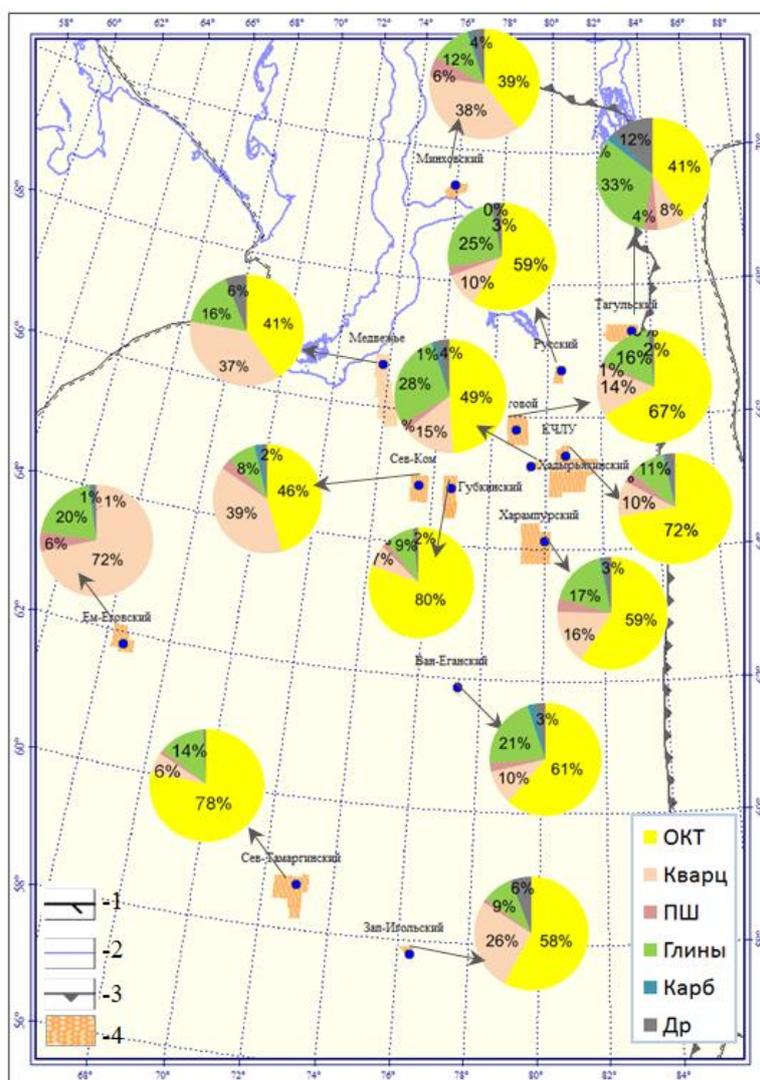


Рис. 1. Результаты изучения методом РСАобщ опок пласта НБ1 нижеберёзовской подцветы на лицензионных участках в пределах территории Западно-Сибирской плиты
 ОКТ - опал-кristобалит-тридимит; ПШ - полевые шпаты; Карб - карбонаты; Др - пирит и др.
 1 - граница Западно-Сибирского бассейна; 2 - береговая линия; 3 - опесчанивание пласта НБ1; 4 - изученные участки.

На рис. 2 показаны изображения РЭМ (морфология индивидов кремнезёма) при большом увеличении (4,8-5,6 тыс. раз) - для опок с низкой (слева) и высокой (справа) степенью кристаллизации ОКТ-фазы.

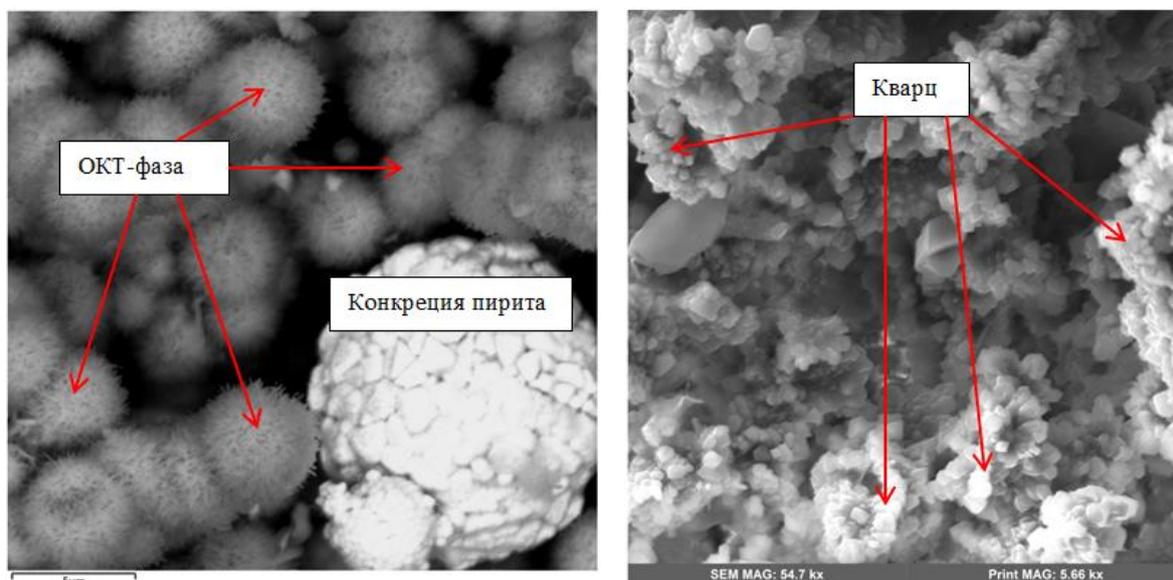


Рис. 2. Примеры микроскопических индивидов опал-кристобалит-тридимитовой фазы (увеличение $\times 4800$ раз) в опоках пласта НБ1 в центральной части Западно-Сибирской плиты (слева) и микроскопических индивидов вторичного кварца (увеличение $\times 5600$ раз) в опоках пласта НБ1 на западе Западно-Сибирской плиты (справа)
(И.Г. Павлуткин, ООО «ТННЦ», 2023 г.)

Примерная (грубая) оценка степени кристаллизации ОКТ-фазы (до состояния кварца) заключается в следующем. Из кварца, определённого по РСАобщ, вычитается содержание обломочного кварца (по данным описания шлифа), полученный остаток с долей условности отражает количество вторичного кварца (как результат кристаллизации ОКТ-фазы).

Сумма вторичного кварца и ОКТ-фазы (по данным РСАобщ) показывает изначальное количество диоксида кремния (опала) в глинисто-кремнистых илах/коллоидах. После этого, рассчитать долю раскристаллизованной (до состояния кварца) ОКТ-фазы, не составляет труда.

На рис. 1 наглядно отражено, что в западной части Западно-Сибирского бассейна в составе пласта НБ1 установлены значительные содержания скрытокристаллического кварца (в 3-4 раза больше, относительно центральных и восточных районов). В центральной и восточной зонах содержание ОКТ-фазы варьирует от 41 до 80% с минимальным содержанием на Тагульском лицензионном участке (ЛУ). В Центральной зоне доля ОКТ-фазы выше (разброс значений от 60 до 80%). Количество глин увеличивается на северо-востоке, достигая максимума на Тагульском ЛУ. Содержание кварца (по данным РСАобщ) в западной зоне - от 34 до 72%. В центре и на востоке ЗСП доля вторичного кварца не превышает 6-16%.

В табл. 1 приведены данные расчёта степени кристаллизации ОКТ-фазы для пласта НБ1

ряда месторождений.

Площадное распределение значений кристаллизации ОКТ-фазы пласта НБ1 относительно разломных структур показано на рис. 3.

На рис. 3 зелёным цветом выделены поля *отрицательных* гравитационных аномалий, жёлтым цветом – *положительные* аномалии (заметно совпадающие с зонами рифтовых структур на рис. 4). Согласно современным представлениям «Карта гравитационного поля с определённой долей приближения может показывать положение тел гранитоидов (интенсивные локальные минимумы - зелёная окраска). Либо зоны повышенной кремнистости земной коры («размазанные» зоны пониженного гравитационного поля, в противоположность повышенному гравитационному полю над участками насыщения коры базитами, развития «тяжелых» глинисто-хлоритовых сланцев и карбонатов - жёлтый цвет). Граниты и гранито-гнейсы – аномальные проводники тепла, поэтому над массивами гранитоидов всегда повышенный тепловой поток (например, Салымская тепловая аномалия, но фактически подобные аномалии обнаруживаются над всеми крупными гранитными интрузиями завершающей орогенной стадии геосинклинального цикла)» (ООО «ТННЦ», 2008 г.).

На рис. 4 выделены рифтогенные (синий цвет) и рифтоподобные (розовый цвет) структуры, характеризующиеся повышенным подтоком тепла. «Неотектонические движения в бортах рифтов привели к формированию высокоамплитудных линейных складок со значительным вертикальным диапазоном нефтегазоносности и многозалежными месторождениями... Очевидна приуроченность большинства крупных и гигантских месторождений к зонам расположения крупных рифтов, на бортах которых и сформировались гигантские антиклинальные поднятия, контролирующие такие месторождения как – Самотлорское, Усть-Балыкское, Фёдоровское, нефтяные; и Ямбургское, Уренгойское, Бованенковское и др. газо-нефте-конденсатные и газоконденсатные» [Флюидодинамическая интерпретация..., 2021]. Участки с повышенной степенью кристаллизации ОКТ-фазы удовлетворительно совпадают с зонами **рифтогенных** и **рифтоподобных** структур, тогда как участки с низкими значениями вторичного кварца обычно приурочены к участкам жёлто-коричневой окраски (см. рис. 4).

Таблица 1

Усреднённые данные по отложениям пласта НБ1 нижеберёзовского горизонта на месторождениях Западной Сибири (ООО «ТННЦ», 2023 г.).

Номер скв.	Кол-во обр., шт.	Привязка			После экстракции						ОКТ по РСАобщ, %	Кристаллизация ОКТ, %
		Кровля по ГИС	Подощва по ГИС, м	Стратиграфическая единица	Пористость по гелию	Проницаемость по газу	Плотность, г/см ³		Общая глина по РСАобщ, %	Кварц по РСАобщ, %		
							объемная	минералогическая				
520	40 обр.	990,80	998,90	НБ1	32,6	0,265	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	0,00	100
85	31 обр.	1054,00	1065,00	НБ1	14,9	0,07	1,86	2,18	10,10	8,30	68,50	13
84	30 обр.	1095,40	1110,60	НБ1	16,6	1,08	1,91	2,29	16,50	14,70	65,90	17
187	15 обр.	1023,00	1037,00	НБ1	15,9	0,07	1,87	2,23	21,60	15,30	49,00	24
13-07	23 обр.	581,00	601,00	НБ1	31,1	1,64	1,62	2,35	24,50	10,80	58,90	12
105Н	9 обр.	951,00	958,00	НБ1	28,3	0,36	1,65	2,30	16,10	8,30	67,80	12
109Н	31 обр.	933,00	938,00	НБ1	29,4	0,21	1,60	2,28	22,20	8,20	66,70	4
70	13 обр.	862,00	871,00	НБ1	18,2	6,27	1,90	2,32	12,50	37,80	39,60	38
18П	16 обр.	808,00	823,00	НБ1	18,5	0,78	1,87	2,29	5,50	13,50	76,30	17
59	3 обр.	828,00	832,00	НБ1	44,3	0,22	1,29	2,32	13,70	5,90	78,50	5
2П	13 обр.	808,00	820,00	НБ1	15,5	0,03	1,82	2,15	11,30	11,00	70,70	14
9061	7 обр.	848,00	859,00	НБ1	43,4	1,71	1,36	2,29	20,40	9,10	55,80	13
31П	5 обр.	781,80	783,20	НБ1	35,1	0,15	1,52	2,41	8,60	26,30	57,90	23
4С	3 обр.			НБ1					16,20	37,10	40,50	30

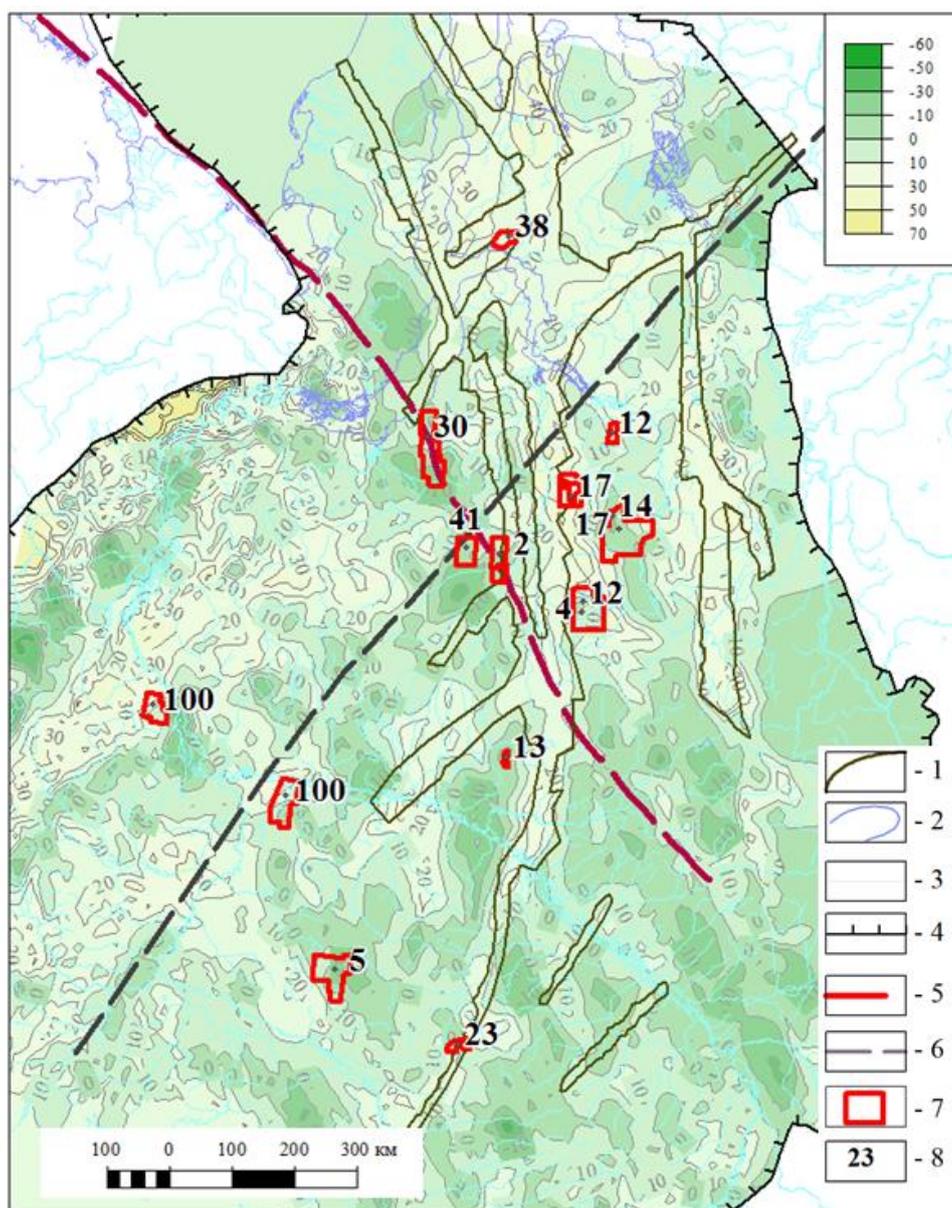


Рис. 3. Карта гравитационного поля Западно-Сибирской плиты

1 - рифты раннего триаса; 2 - береговая линия; 3 - речная сеть; 4 - граница Западно-Сибирского бассейна; 5 - зона Транс-Евразийского сдвига; 6 - зона Тургайского сдвига; 7 - изученные ЛУ; 8 - степень кристаллизации опал-кristобалит-тридимита, %. Степень кристаллизации опал-кristобалит-тридимита соответствует значениям, указанным в табл. 1.

Теоретические предпосылки

Современный уровень детальности изучения верхнего мела ЗСП достаточно обоснованно позволяет предположить, что преобладание кварца в западной части плиты в значительной степени может быть связано с разрывными тектоническими деформациями [Насонова и др., 2021].

При тектонических процессах выделяется существенное количество тепла, и возникают перепады давления, а также другие процессы, краткая характеристика которых приводится ниже.

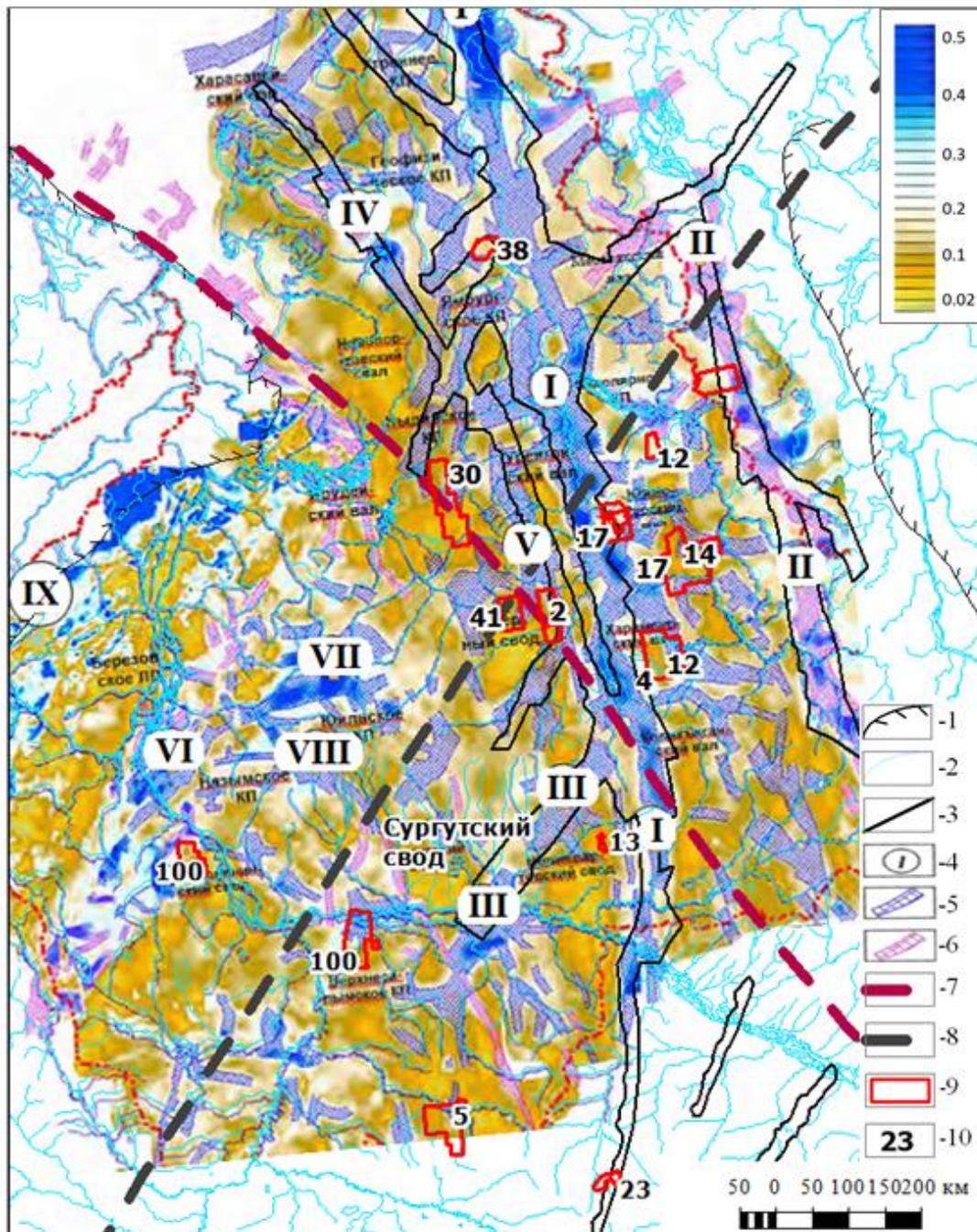


Рис. 4. Карта комплексного параметра потенциальных полей (нормированные и суммированные гравитационное и магнитное поля; по И.В. Косареву, 2006 г.) [Нежданов, 2021], с дополнениями)
 1 - граница Западно-Сибирского бассейна; 2 - речная сеть; 3 - зона Колтогорско-Уренгойских рифтов; 4 - крупные грабен-рифты; положительные аномалии потенциальных полей: 5 - интерпретируемые как рифтогенные структуры, 6 - интерпретируемые как рифтоподобные структуры; 7 - зона Трансевразийского сдвига; 8 - зона Тургайского сдвига; 9 - изученные ЛУ; 10 - степень кристаллизации опал-кristобалит-тридимита, %.
 Наиболее крупные рифты: I - Уренгойско-Колтогорский; II - Худосейский; III - Аганский; IV - Ямальский; V - Худуттейский; VI - Шеркалинский; VII - Казымский; VIII - Кельсинский; IX - Восточно-Уральская система рифтов.

Меняющиеся давления способствуют ускоренному преобразованию аморфного кремнезёма в кварц [Кутас, 1978]. Известно, что хрупкие деформации пород сопровождаются

разрушением их кристаллической структуры, что приводит к появлению вакуума и возникновению мощных электрических разрядов с напряженностью поля до 10^7 вольт/см, способных создавать условия для преобразования осадков и даже генерации УВ [Кукуруза, Савченко, 1993; Бурлин, Плюснина, 2008].

Повышение температуры и давления в катагенезе ускоряет процессы трансформации опала (в ОКТ-фазу и далее в кварц), что и подтверждается вышеприведёнными результатами [Бурлин, Плюснина, 2008]. Кремнистые отложения обладают пьезосвойствами. За счёт тектонических движений возникают деформации и электрические заряды в различных областях, поскольку часть энергии преобразуется в электрическое поле. Величина заряда зависит от свойств материала и величины приложенного усилия. *Периодическое изменение напряженного состояния пород вызывает относительные изменения давления и температуры, создавая вертикальную и горизонтальную сообщаемость, т. е. трещиноватость и, как следствие, преобразование опала (→ в ОКТ → в кварц).*

Тектонические процессы, кроме повышения температуры и давления, активизируют ряд механизмов, например, механохимический эффект [Болдырев, 2006], эффект Ребиндера [Траскин, 2009], пьезоэффект [Казанцев и др., 2014], эффект Юткина [Юткин, 1986], электроосмоса и электрофореза [Химия поверхностных..., 2017]. Совокупная реализация эффектов заметно ускоряет диакатагенетические преобразования/изменения, что приводит к более быстрому преобразованию опала в кварц (относительно областей с пониженным влиянием тектонических процессов).

Механохимический эффект - пластическая деформация твёрдого тела обычно приводит к изменению формы и накоплению в нём дефектов, изменяющих физико-химические свойства, в том числе реакцию способность. Скорость химических реакций может возрастать в 1,5 и более раз, а скорость диффузии - в десятки раз [Болдырев, 2006].

В зоне тектонических нарушений действует эффект адсорбционного понижения прочности породы, открытый П.А. Ребиндером [Траскин, 2009].

Эффект Ребиндера. Под влиянием растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) *обратимо* уменьшается прочность твёрдых тел, облегчается их разрушение (дробление). В некоторых случаях происходит самопроизвольное диспергирование твёрдых тел. Относительная прочность кристаллов уменьшается в 1,5-4,0 раза в зависимости от пары кристалл-жидкость [Траскин, 2009]. На основе исследований П.А. Ребиндера, морские глинисто-карбонатные илы, содержащие кремнезём и насыщенные водой, рассматриваются как полидисперсная структурированная суспензия с сетчатым коагуляционным каркасом, из которого свободная вода может выделяться по разным причинам, как например, разрушение ячеек каркаса, синерезис суспензии. Глинисто-кремнистый осадок также является коллоидно-

дисперсной системой. Свободная вода, поднимаясь вверх, будет периодически скапливаться и временно задерживаться на определенных горизонтальных уровнях. Концентрация воды на этих определенных уровнях осадка происходит вследствие того, что глинистые частицы суспензии способны горизонтально ориентироваться в структурированной системе, при этом они на некоторое время задерживают воду и не дают ей свободно передвигаться по осадку. Это и создает условия для формирования криптокристаллической массы кремнистых пород из растворов с высоким содержанием кремнезёма и в присутствии большого количества центров кристаллизации. Вполне вероятно, что увеличение содержания кварца от кровли к подошве пласта нижеберёзовской подсвиги контролируется не только вариациями температуры, давления, бактериальных сообществ, но также и за счёт содержания глин. Открытым остается вопрос о количестве глин в нижеберёзовской подсвиге, достаточном для сохранения сетчатого каркаса и возможности для осаждения модификаций кремнезёма (ОКТ-фазы), и, даже в большей степени, кварца.

Пьезоэффект. При нагружении пород с разным содержанием диоксида кремния за счёт пьезоэффекта возникает напряжение в пределах 100В, однако при формировании трещин разрушения происходит скачок напряжения, и образуется электрический разряд, увеличивающий скорость химических реакций [Казанцев и др., 2014].

Электрогидравлический эффект (эффект Юткина). При искровом разряде в жидкости развиваются сверхвысокие давления, вызывающие дробление и диспергирование твёрдых тел («гидроразрыв»). Также отмечается ускорение химических реакций [Юткин, 1986].

Явления электроосмоса и электрофореза. Явление переноса жидкости под действием внешнего электрического поля, наблюдаемое как в капиллярно-пористых телах, так и в одиночных капиллярах, получило название электроосмоса. Процесс, обратный электрофорезу, открыт Ф.Э. Дорном. При оседании частиц кварца в воде регистрировалась разность потенциалов, возникающая между двумя электродами, расположенными на разной высоте. Этот эффект назван потенциалом оседания (или седиментации). На основании изучения этих явлений зафиксировано, что у поверхности коллоидных частиц на границе раздела фаз образуется двойной электрический слой (ДЭС), и возникает скачок потенциалов. Действительно, разноимённость зарядов фаз, в случае неподвижного пористого тела в электрическом поле, приводит к перемещению подвижных противоионов вместе с жидкой фазой к соответствующему полюсу. Действие же внешней механической силы (давления) вызывает вынос подвижного заряда диффузного слоя, и, следовательно, возникновение разности потенциалов [Химия поверхностных..., 2017]. Данные процессы ведут к разделению и концентрации минеральных компонентов по составу.

Таким образом, можно отметить, что эффекты сдвиговых процессов, проявленные на фоне регионального/субрегионального повышенного теплового потока, способны значительно ускорить преобразование/изменение компонентов породы, в том числе темпы переходов в цепочке минералов опал → ОКТ → кварц.

Интерпретация полученных результатов

На всех месторождениях ЗСП с повышенным содержанием кварца в отложениях коньяк-сантонского возраста присутствуют сдвиговые нарушения, которые расположены либо в непосредственной близости региональных сдвигов, либо представляют оперяющие ветви сдвиговых региональных дислокаций, например, Медвежье, Северо-Комсомольское, Минховское и Ем-Еговское (см. рис. 3-5). На современном уровне изученности верхнего мела ЗСП для авторов статьи наибольший интерес вызывают два региональных мегасдвига (практически, ортогональные разломы). Первый - Трансевразийский (поздняя пермь), выделенный К.О. Соборновым и др. [Соборнов, Якубчук, 2006], и второй, который описал Ю.В. Филипович - Тургайский [Филипович, 2001] (см. рис. 3-5). В то же время, заметные сдвиговые процессы, связанные с зоной Колтогорско-Уренгойских рифтов (ранний триас), не отмечаются, что, видимо, является следствием иного механизма их образования (относительно сдвигов).

«... Трансевразийский разлом делит регион Западной Сибири на Казахско-Хинганский и Алтай-Монгольский домены и протягивается из Монголии через Иртыш-Зайсанскую зону и Западную Сибирь в направлении южнее Новой Земли, что вызвало резкий излом Уральско-Новоземельской складчатой системы. Под покровом осадочных толщ ЗСП он трассируется по данным магнито- и сейсморазведки. На основе сопоставления метаморфических и островодужных комплексов в обнажённых складчатых областях левостороннее смещение по этому разлому оценивается в 1000 км. Предполагается позднепермский возраст этого смещения, так как разлом запечатан дайковыми поясами и рифтогенными структурами триасовых траппов» [Соборнов и др., 2006]. На северо-западном участке Трансевразийского сдвига установлена Карская астроблема диаметром 120 км (75-65 млн. лет назад; рис. 5). Карская астроблема, являясь седьмым в мире по величине ударным кратером, вероятно, вполне могла спровоцировать вспышку активности Трансевразийского сдвига на границе мела и палеогена [Нассонова и др., 2021].

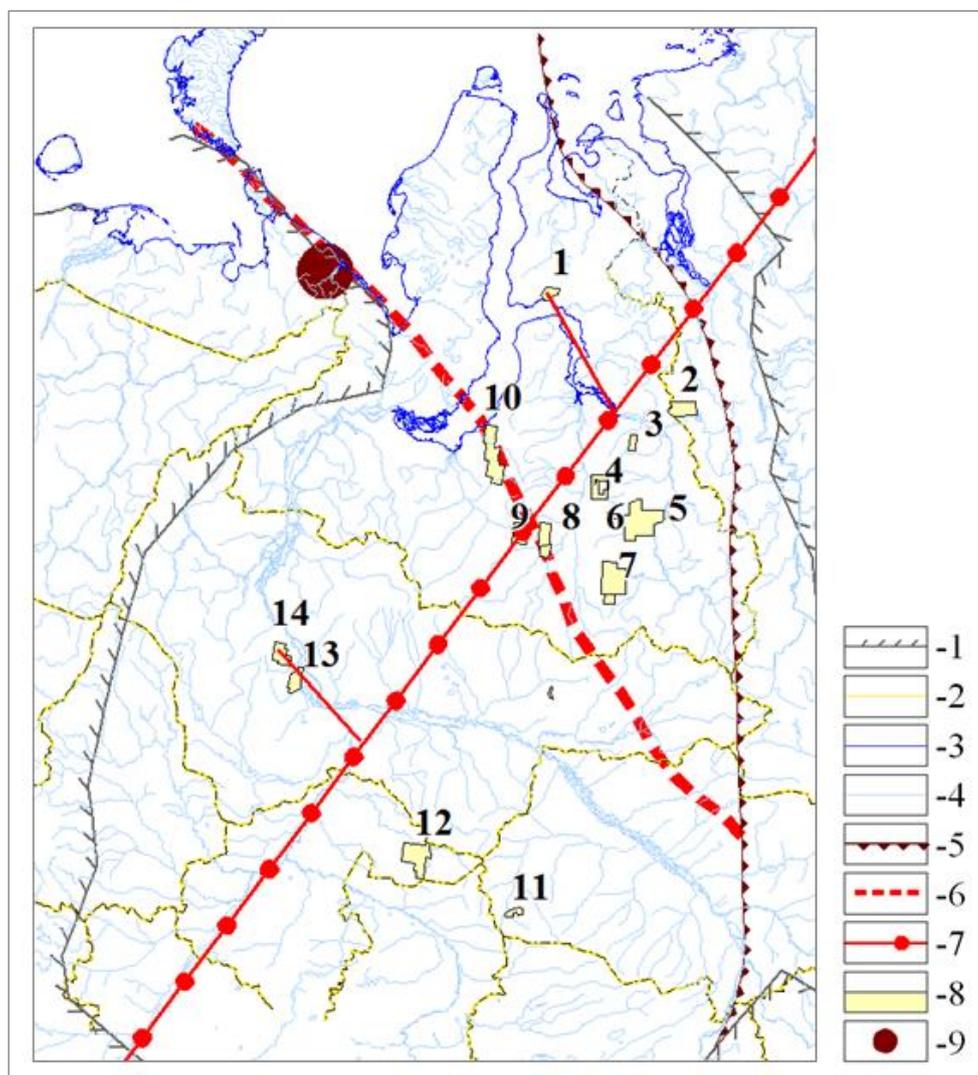


Рис. 5. Схема расположения Тургайского и Трансевразийского сдвигов и оперяющих разломов
 1 - граница Западно-Сибирского бассейна; 2 - административные границы; 3 - береговая линия;
 4 - речная сеть; 5 - опесчанивание НБИ; 6 - зона Трансевразийского сдвига; 7 - зона Тургайского сдвига;
 8 - изучаемые участки; 9 - Карская астроблема. Участки: 1 - Минховский, 2 - Тагульский, 3 - Русский,
 4 - Береговой, 5 - Кынско-Часельский, 6 - Хадырьяхинский, 7 - Харампурский, 8 - Губкинский, 9 - Северо-Комсомольский, 10 - Медвежий, 11 - Западно-Игольский, 12 - Северо-Тамаргинский, 13 - Каменный, 14 - Ем-Еговский.

По мнению Ю.В. Филипповича, основную триасовую рифтогенную зону Западной Сибири контролирует являющийся, по существу, структурой типа *put apart* (сдвига-раздвиг) – правосторонний Тургайский мегасдвиг, который включает Тургайский шов и его Енисей-Хатангское продолжение – Малохетско-Рассохинскую горстовую систему (рис. 6). Этот сдвиг ранее более схематично выделяли В.С. Сурков и др. (1986, 2000 гг.), К.В. Боголепов (1967 г.), В.А. Дедеев (1962 г.). Авторы статьи считают его одним из основных, проявившимся и в неотектонический этап, межблоковым швом, разграничивающим уральские герциниды и казахстанские каледониды, являющимся также восточной границей так называемого Уват-Хантымансийского срединного массива. Известно, что элементы дренажных речных систем весьма чувствительны к горизонтальным тектоническим дислокациям и традиционно

используются как их специфические индикаторы при геоморфологических исследованиях и реконструкциях. По утверждению Ю.В. Филипповича, триасовые сдвиговые дислокации достаточно хорошо согласуются с гидрографической сетью региона [Филиппович, 2001]. Узловые точки приурочены обычно к рекам либо к устьям, либо к истокам рек. К такой узловой точке Ю.В. Филиппович относит Северо-Комсомольское месторождение (рис. 6).

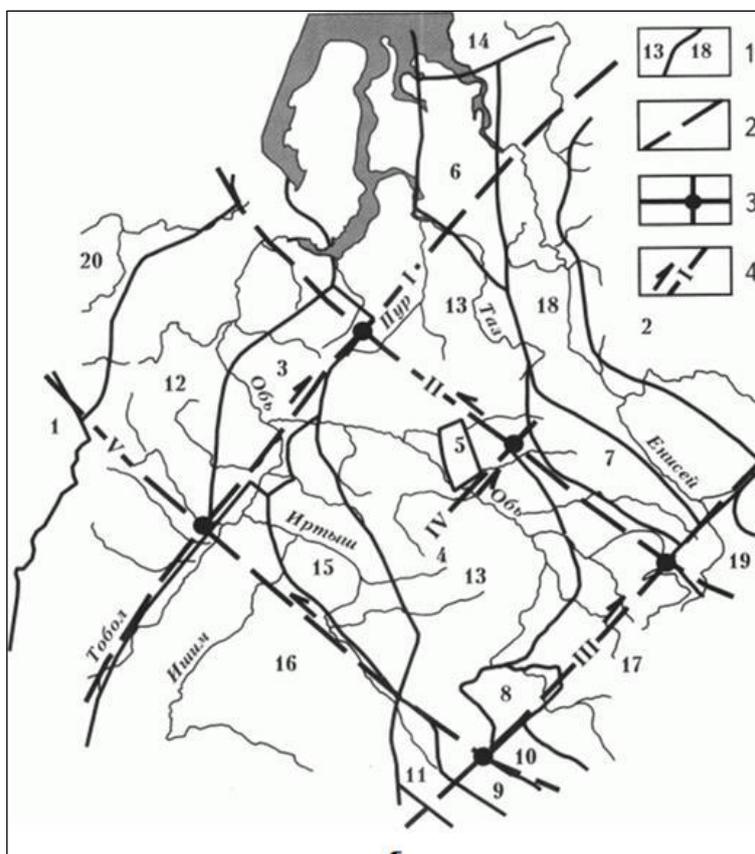


Рис. 6. Палинстастическая реконструкция тектонических блоков фундамента Западно-Сибирской плиты на конец палеозоя (на основе «Схема тектонического районирования фундамента Западно-Сибирской плиты; по В.С. Суркову, 1981 г.» [Филиппович, 2001]

1 - границы тектонических блоков (1 - Восточно-Европейская платформа; 2 - Сибирская платформа; 3 - Уват-Хантымансийский; 4 - Межовский; 5 - Усть-Тымский; 6 - Няояхский; 7 - Верхнекетский; 8 - Барнаульский; 9 - Рудно-Алтайский; 10 - Теректинский; 11 - Чингизский; 12 - Уральский; 13 - Центрально-Западносибирский; 14 - Таймырский; 15 - Салымский; 16 - Центрально-Казахстанский; 17 - Салаирско-Кузнецкий; 18 - Енисейский; 19 - Восточно-Саянский; 20 - Тимано-Печорский); 2 - границы блоков, выделенных В.С. Сурковым; 3 - узловые точки; 4 - установленные мегасдвиги (I - Тургайский; II - Чаяно-Пайхойский; III - Барнаульско-Ангарский; IV - Усть-Тымский; V - Иртышский).

На южном продолжении Тургайского сдвига находятся Ем-Ёговский и Каменный ЛУ, где по данным ЗД зафиксирована опережающая ветвь регионального сдвига [Нассонова и др., 2020], также как и на Минховском ЛУ (рис. 7 – данные локальных работ ЗД).

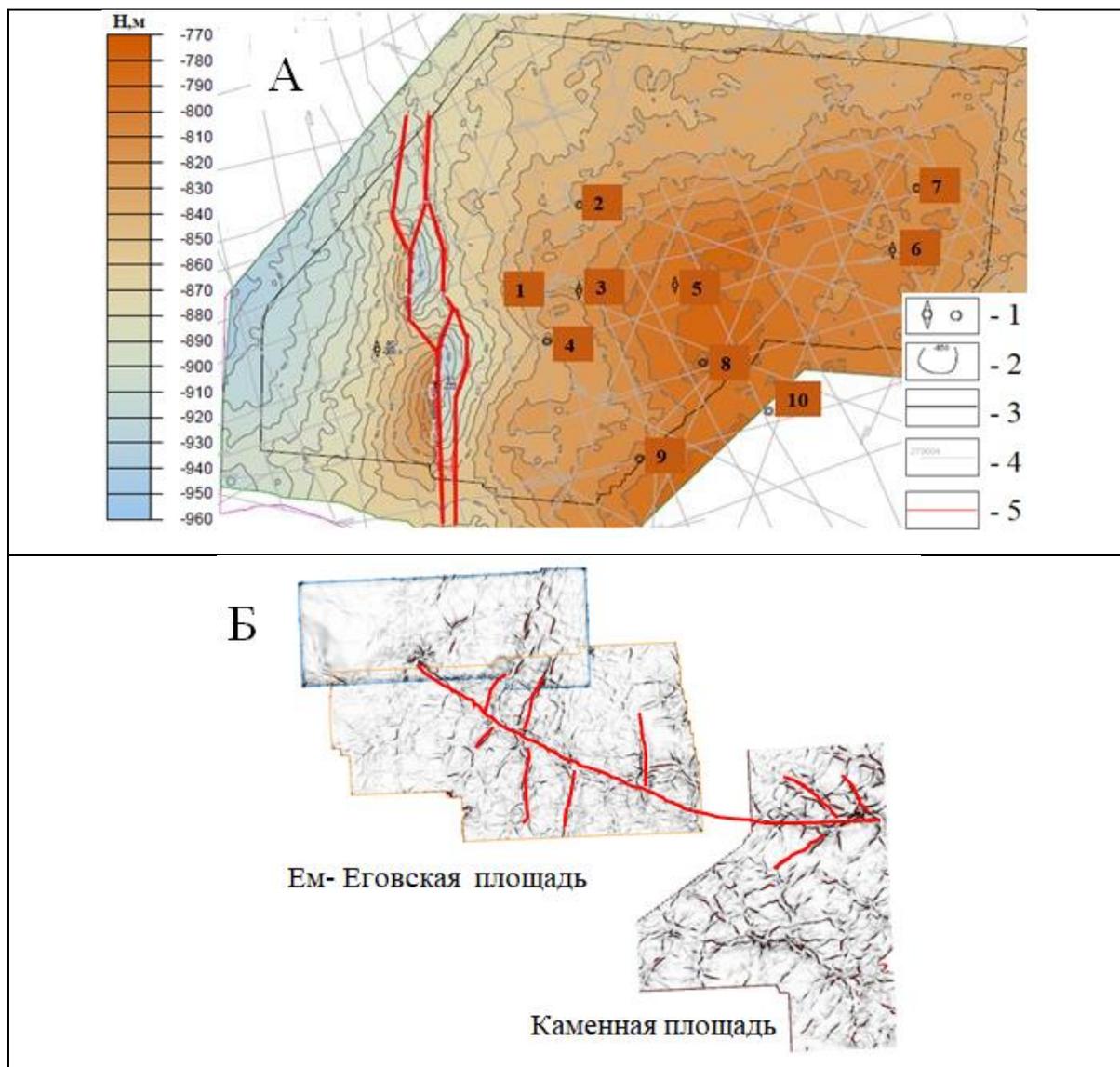


Рис. 7. Местоположение сдвиговых нарушений на структурной карте по отражающему горизонту СЗ (берёзовская свита, кровля пласта НБ1) на Минховском лицензионном участке (А) и на Ем-Ёговском и Каменном лицензионных участках (Б) по отражающему горизонту М 1 - скважины; 2 - изогипсы, м; 3 - зона ненулевой кратности; 4 - сейсморазведочные профили МОГТ-2D; 5 - тектонические нарушения.

Такой гидрографический контроль говорит о том, что палеосдвиговая система имела долгоживущий характер и оказывала существенное геоморфологическое влияние на всём протяжении мезо-кайнозойского осадконакопления. Данные сдвиги проявлялись не только в верхнем мелу, но и в кайнозое (рис. 7). Следовательно, они могли оказать (в комплексе с другими факторами) непосредственное и заметное влияние на литогенетические процессы трансформации смектитов и опок пласта нижеберёзовской подсвиты (образование ОКТ-фазы, и далее, на отдельных участках – вплоть до полного окварцевания ОКТ).

Региональные тектонические движения восточного склона Урала в миоцене с образованием наклона амплитудой 200 м в сторону ЗСП отмечены в ранее опубликованной

статье [Насонова и др., 2020]. Также приводятся доказательства синхронности тектонических движений Красноленинского свода и Палеоурала. Это позволяет предположить связь этапов тектонического развития свода с региональными движениями Палеоурала, которые спровоцировали территориальный наклон свода на восток в сторону Фроловской впадины. Периодическая тектоническая активность сдвигов придавала дополнительный импульс физико-химическим процессам, способствующий относительному ускорению постепенной кристаллизации осадочного аморфного кремнезёма (ОКТ-фазы) глинисто-кремнистых илов-коллоидов и превращению их в микро-скрытокристаллические кварцевые породы (опоковидные силициты).

Таким образом, зональность минералогического состава нижнеберёзовской подвиты и её аналогов на территории ЗСП, несомненно, обусловлена рядом факторов, как синхронных осадконакоплению, так и литогенетических. Недостаточное количество фактического материала из отложений верхнего мела ЗСП не позволяет уверенно выделять зоны развития улучшенных коллекторов в глинисто-кремнистых отложениях коньяк-сантонского возраста.

Предварительно можно предположить, что наиболее оптимальными для обнаружения улучшенных коллекторов в составе глинисто-кремнистых отложений верхнего мела ЗСП являются участки гранитизации основания земной коры (зелёная окраска на карте гравитационных полей), расположенные вблизи или совпадающие с мегаразломными структурами.

Выводы

1. В результате региональных исследований верхнего мела ЗСП охарактеризованы обстановки и условия осадконакопления опок пласта НБ1 (нижнеберёзовская подвита коньяк-сантонского возраста). Опоки сложены преимущественно агрегатом кремнезёма (опал – ОКТ-фаза – кварц). Содержание диоксида кремния (SiO_2) достигает 90-95%. Фактические соотношения групп аморфного и кристаллического кремнезёма не выдержаны по площади ЗСП, что отражает неравномерную степень эпигенетического преобразования в ряду опал → ОКТ-фаза → кварц.

2. Вдоль западной периферии Западно-Сибирского бассейна опоки пласта НБ1 характеризуются повышенным содержанием скрытокристаллического (новообразованного) кварца (от 34 до 72 %), то есть в 3-4 раза больше относительно центральной и восточной частей ЗСП (6-16%), например, на месторождениях Медвежье, Северо-Комсомольское, Ем-Еговское и Минховское. Содержание ОКТ-фазы в центральной и восточной зонах ЗСП составляет от 41 до 80% (минимальное на Тагульском ЛУ, где отмечается опесчанивание пласта НБ1).

3. На фоне неравномерного по площади прогрева (участки гранитизации

основания континентальной коры), эпизодические проявления тектонической активности в позднем мелу и кайнозойе ЗСП стимулировали физико-химические процессы, способствующие неравномерной кристаллизации осадочного аморфного кремнезёма (ОКТ-фазы) в составе глинисто-кремнистых илов-коллоидов (пласт НБ1), и превращению их в микроскрытокристаллические опоквидные силициты, преимущественно вдоль региональных сдвигов, рифтовых и рифтоподобных структур.

4. Опoki с повышенной долей скрытокристаллического кварца характеризуются улучшенными коллекторскими свойствами (особенно проницаемость) относительно опок с повышенным содержанием ОКТ-фазы.

Литература

Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твёрдых веществ // Успехи химии. - 2006. - 75 (3). - С. 203-216.

Бурлин Ю.К., Плюснина И.И. Фазовые переходы кремнезёма в нефтеносных толщах // Вестник Московского Ун-та. Сер. 4. Геология. - 2008. - № 3. - С. 24-31.

Казанцев В.Г., Ботвенко Д.В., Сазонов М.С., Высоцкий В.В. Экспериментальные исследования пьезоэлектрического эффекта горных пород // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. - 2014. - № 1. - С. 16-22.

Кудаманов А.И., Агалаков С.Е. Цикличность осадкообразования отложений верхнего мела Западно-Сибирской плиты // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XIV Международный научный конгресс (г. Новосибирск, 23-27 апреля 2018 г.): сборник мат. Междунар. научной конференции. - 2018. - С. 183-190.

Кукуруза В.Д., Савченко В.И. Геоэлектрические аспекты скоплений углеводородов в трещиноватых зонах кристаллического фундамента и возможность их прогнозирования // Рифтогенез и нефтегазоносность. - М.: Наука, 1993. - С. 178-186.

Кутас Р.И. Поле тепловых потоков и термическая модель земной коры. - Киев: Наукова Думка, 1978. - 148 с.

Насонова Н.В., Фищенко А.Н., Холманских Н.В., Лапина Л.В. Региональные тектонические тренды и их влияние на нефтегазоносность на Ем-Ёговском и Каменном лицензионных участках Красноленинского месторождения // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. - 2020. - №10. - С. 28-34.

Насонова Н.В., Яновский Д.В., Новоселова М.Ю., Гордеев А.О. Неоднородности литолого-минералогического состава нижнеберёзовской подсвиты Медвежьего и Харампурского месторождений // Нефтяная провинция. - 2021. - № 4 (28). - Спецвыпуск. - Ч. 1. - С. 1-21.

Рыбьяков А.Н., Нерсесов С.В., Соколовский Р.А., Постников А.В., Постникова О.В., Зуева О.А., Кузнецов А.С., Дорошенко А.А., Карымова Я.О., Качинская И.В., Жегалло Е.А. Генезис силицитов и пустотного пространства коллекторов коньяк-сантонских отложений Медвежьего месторождения // Газовая промышленность. - 2020. - № 8. - С. 54-64.

Соборнов К.О., Якубчук А.С. Плитотектоническое развитие и формирование нефтегазоносных бассейнов Северной Евразии // Геология нефти и газа. - 2006. - № 2. - С. 10-19.

Траскин В.Ю. Эффект Ребиндера в тектонофизике // Физика Земли. - 2009. - №11. - С. 22-33.

Филиппович Ю.В. Новая концепция тектонического строения фундамента и осадочного чехла Западно-Сибирской плиты // Геология нефти и газа. - 2001. - № 5. - С. 51-62.

Флюидодинамическая интерпретация сейсморазведочных данных: учебное пособие / А.А. Нежданов, А.С. Смирнов. - Тюмень: ТИУ, 2021. - 286 с.

Хабибуллин Д.Я., Рыбьяков А.Н., Ситдииков Н.Р., Варягов С.А., Нерсесов С.В., Крекнин С.Г., Огибенин В.В., Дорошенко А.А., Карымова Я.О., Родивилов Д.Б. Литолого-минералогические и промыслово-геологические критерии выделения продуктивных зон в сенонских отложениях // Газовая промышленность. - 2018. - № 8. - С. 34-41.

Химия поверхностных явлений (коллоидная химия): учеб.-метод. пособие / К.М. Колмаков. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2017. - 322 с.

Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. - Ленинград машиностроение, 1986. - 246 с.

Nassonova N.V., Kudamanov A.I., Distanova L.R.

Tyumen Oil Research Center LLC, Tyumen, Russia, NVNassonova@tnc.rosneft.ru, aikudamanov@tnc.rosneft.ru, Irdistanova@tnc.rosneft.ru

PROBABLE MODELS OF LITHOLOGICAL COMPOSITION WITHIN NB1 RESERVOIR OF NIZHNEBEREZOV SUB-FORMATION

In the process of regional research activity within the Upper Cretaceous of the West Siberian Plate, the conditions and settings of sedimentation of siliceous formation (opoka) NB1 (Lower Berezov sub-Formation of Coniacian-Santonian age) were characterized. The results of laboratory tests of the cores showed an uneven distribution over the area of the ratio of amorphous (opal-cristobalite-tridymite) and crystalline (quartz) silica - the main components (in total up to 80-85% or more) in the composition of the siliceous formation, which is the result of the "aging" of amorphous forms (opal, opal-cristobalite-tridymite) silicium dioxide and converting it into crystalline quartz. It has been established that, all other things being equal, siliceous formation with a high content of quartz are characterized by improved permeability relative to siliceous formation with a high proportion of opal-cristobalite-tridymite phase. The process of gradual "aging" of siliceous formation, in fact, a stage-by-stage transition of amorphous silica into a crystalline form can occur regionally - as the sedimentary levels sinks and is covered by younger sedimentary rocks, under the influence of gradually increasing - temperature and pressure. In areas with an increased influx of deep heat (deep fault zones), the rate of crystallization of amorphous silica is relatively more intense. Within Western Siberia, zones of regional strike-slip faults (Trans-Eurasian and Turgay), rifts (the main zone is Koltogorsk-Urengoy) and rift-like structures have been established. The most likely additional heat source is zones of regional shear faults and feathering faults.

Keywords: Upper Cretaceous, Berezov sub-Formation, opal-cristobalite-tridymite, quartz, siliceous formation (opoka), Trans-Eurasian shear, Turgay shear, Koltogorsk-Urengoy rifts, West Siberian Plate.

References

- Boldyrev V.V. *Mekhanokhimiya i mekhanicheskaya aktivatsiya tverdykh veshchestv* [Mechanochemistry and mechanical activation of solids]. *Uspekhi khimii*, 2006, 75 (3), pp. 203-216.
- Burlin Yu.K., Plyusnina I.I. *Fazovye perekhody kremnezema v neftenosnykh tolshchakh* [Phase transitions of silica in oil-bearing strata]. *Vestnik Moskovskogo un-ta. Ser. 4. Geologiya*, 2008, no. 3, pp. 24-31.
- Filippovich Yu.V. *Novaya kontseptsiya tektonicheskogo stroeniya fundamenta i osadochnogo chekhla Zapadno-Sibirskoy plity* [New concept of the tectonic structure of the basement and sedimentary cover of the West Siberian]. *Geologiya nefti i gaza*, 2001, no. 5, pp. 51-62.
- Kazantsev V.G., Botvenko D.V., Sazonov M.S., Vysotskiy V.V. *Eksperimental'nye issledovaniya p'ezoelektricheskogo efekta gornyykh porod* [Experimental studies of the piezoelectric effect of rocks]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti*, 2014, no. 1, pp. 16-22.
- Khabibullin D.Ya., Ryb'yakov A.N., Sitdikov N.R., Varyagov S.A., Nersesov S.V., Kreknin S.G., Ogibenin V.V., Doroshenko A.A., Karymova Ya.O., Rodivilov D.B. *Litologo-mineralogicheskie i promyslovo-geologicheskie kriterii vydeleniya produktivnykh zon v senonskikh otlozheniyakh* [Lithological-mineralogical and commercial-geological criteria for identifying productive zones in Senonian strata]. *Gazovaya promyshlennost*, 2018, no. 8, pp. 34-41.
- Khimiya poverkhnostnykh yavleniy (kolloidnaya khimiya): ucheb.-metod. posobie* [Chemistry of surface phenomena (Colloid chemistry)]. K.M. Kolmakov. Penza: Izd-vo PGU, 2017, 322 p.
- Kudamanov A.I., Agalakov S.E. *Tsiklichnost' osadkoobrazovaniya otlozheniy verkhnego mela Zapadno-Sibirskoy plity* [Cyclicality of sedimentation of Upper Cretaceous strata of the West Siberian]. *Interesno GEO-Sibir': XIV Mezhdunarodnyĭ nauchnyĭ kongress: sbornik mat. Mezhdunar. nauchnoy konferentsii (Novosibirsk, 23-27 April 2018)*, 2018, pp. 183-190.

Kukuruza V.D., Savchenko V.I. *Geoelektricheskie aspekty skopleniy uglevodorodov v treshchinovatykh zonakh kristallicheskogo fundamenta i vozmozhnost' ikh prognozirovaniya* [Geoelectric aspects of hydrocarbon accumulations in fractured zones of the crystalline basement and the possibility of their prediction]. *Riftogenez i neftegazonosnost'*. Moscow: Science, 1993, pp. 178-186.

Kutas R.I. *Pole teplovykh potokov i termicheskaya model' zemnoy kory* [Heat flow field and thermal model of the earth's crust]. Kiev: Naukova Dumka, 1978, 148 p.

Nassonova N.V., Fishchenko A.N., Kholmanskikh N.V., Lapina L.V. *Regional'nye tektonicheskie trendy i ikh vliyanie na neftegazonosnost' na Em-Egovskom i Kamennom litsenzyonnykh uchastkakh Krasnoleninskogo mestorozhdeniya* [Regional tectonic trends and their influence on oil and gas content in the Em-Yogovsky and Kamenny license areas of the Krasnolenin field]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2020, no. 10, pp. 28-34.

Nassonova N.V., Yanovskiy D.V., Novoselova M.Yu., Gordeev A.O. *Neodnorodnosti litologo-mineralogicheskogo sostava nizheberezovskoy podsvity Medvezh'ego i Kharampurskogo mestorozhdeniy* [Heterogeneity of the lithological and mineralogical composition of the Lower Berezov sub-Formation of the Medvezhy and Kharampur fields]. *Neftyanaya provintsiya*, 2021, no. 4 (28), part 1, special issue, pp. 1-21.

Nezhdanov A.A., Smirnov A.S. *Flyuidodinamicheskaya interpretatsiya seysmorazvedochnykh dannykh: uchebnoe posobie* [Fluid dynamic interpretation of seismic data: tutorial]. A.A. Nezhdanov, A.S. Smirnov. Tyumen': TIU, 2021, 286 p.

Ryb'yakov A.N., Nersesov S.V., Sokolovskiy R.A., Postnikov A.V., Postnikova O.V., Zueva O.A., Kuznetsov A.S., Doroshenko A.A., Karymova Ya.O., Kachinskaya I.V., Zhegallo E.A. *Genesis silitsitov i pustotnogo prostranstva kollektorov kon'yak-santoniskikh otlozheniy Medvezh'ego mestorozhdeniya* [Genesis of silicites and void space of reservoirs of Coniacian-Santonian strata of the Medvezhye field]. *Gazovaya promyshlennost'*, 2020, no. 8, pp. 54-64.

Sobornov K.O., Yakubchuk A.S. *Plitotektonicheskoe razvitiye i formirovaniye neftegazonosnykh basseynov Severnoy Evrazii* [Plate tectonic development and formation of oil and gas basins in Northern Eurasia]. *Geologiya nefti i gaza*, 2006, no. 2, pp. 10-19.

Traskin V.Yu. *Effekt Rebindera v tektonofizike* [Rehbinder effect in tectonophysics]. *Fizika Zemli*, 2009, no. 11, pp. 22-33.

Yutkin L.A. *Elektrogidravlicheskiy effekt i ego primeneniye v promyshlennosti* [Electrohydraulic effect and its application in industry]. Leningrad mechanical engineering, 1986, 246 p.

© Нассонова Н.В., Кудаманов А.И., Дистанова Л.П., 2023

