ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА

УДК 553.98:552.54(571.5)
https://doi.org/10.26516/2541-9641.2025.4.132
EDN: RVGZVL

Влияние тектонических нарушений на формирование вторичной кальцитизации осинского горизонта на территории Непско-Ботуобинской антеклизы

А.Р. Валиуллин[1], В.А. Захарова[2]

[1]*Группа компаний «Газпром нефть», г. Санкт-Петербург, Россия*
[2]*Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия*

Аннотация. Осинский горизонт (пласт Б1) Непско-Ботуобинской антеклизы характеризуется сложным геологическим строением и широким развитием вторичных процессов, среди которых кальцитизация оказывает существенное негативное влияние на фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) коллектора. Актуальной задачей является поиск факторов, контролирующих пространственное распределение зон вторичной кальцитизации для улучшения прогноза качества коллектора. Целью исследования является установление взаимосвязи между развитием тектонических нарушений и интенсивностью вторичной кальцитизации в пласте Б1 осинского горизонта. В работе использован комплексный подход, включающий анализ данных литологического каротажа (LithoScanner) и микроимиджерного каротажа (FMI) по 12 скважинам, интерпретацию данных сейсморазведки и электроразведки, а также результаты построения бассейновой и геомеханической моделей. Комплексный анализ позволил установить не только обратную зависимость между близостью к Тымпучиканскому надвигу и содержанием вторичного кальцита, но и выявить совпадение простирания проводящих трещин с направлением надвига. Это служит прямым доказательством того, что тектонические нарушения служили дренирующей системой для миграции минерализованных флюидов, что предотвращало осаждение кальцита. Сделан вывод о том, что близость к надвигу является качественным критерием для прогнозирования зон с улучшенными ФЕС пласта Б1, что открывает возможности для эффективного планирования геологоразведочных работ на слабоизученных участках со схожим тектоническим строением.

Ключевые слова: *осинский горизонт, вторичная кальцитизация, тектонические нарушения, Тымпучиканский надвиг, фильтрационно-емкостные свойства, коллектор, LithoScanner, бассейновое моделирование*

[*] Статья получена: 19.11.2025; исправлена: 25.11.2025; принята: 05.12.2025.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Валиуллин А.Р., Захарова В.А. Влияние тектонических нарушений на формирование вторичной кальцитизации осинского горизонта на территории Непско-Ботуобинской антеклизы // Геология и окружающая среда. 2025. Т. 5, № 4. С. 132–140. DOI 10.26516/2541-9641.2025.4.132. EDN: RVGZVL

Article received: 19.11.2025; corrected: 25.11.2025; accepted: 05.12.2025.

FOR CITATION: Valiullin A.R., Zakharova V.A. Influence of Tectonic Faults on the Formation of Secondary Calcitization of the osinsky horizon within the Nepa-Botuoba Anteclise // Geology and Environment. 2025. Vol. 5, No. 4. P. 132–140. DOI 10.26516/2541-9641.2025.4.132. EDN: RVGZVL

Influence of Tectonic Faults on the Formation of Secondary Calcitization of the Osinsky Horizon within the Nepa-Botuoba Anteclise

A.R. Valiullin[1], V.A. Zakharova[2]

[1]*Gazprom neft company group, Saint Petersburg, Russia*
[2]*Tyumen State University, Tyumen, Russia*

Abstract. The osinsky horizon (Reservoir B1) of the Nepa-Botuoba Anteclise is characterized by complex geology and widespread secondary processes, among which calcitization significantly deteriorates reservoir properties. Identifying factors controlling the spatial distribution of secondary calcitization zones is crucial for improving reservoir quality prediction. This research aims to establish a relationship between tectonic fault development and the intensity of secondary calcitization in Reservoir B1 of the osinsky horizon. An integrated approach was used, including analysis of lithological (LithoScanner), and microimager (FMI) logging data from 12 wells, interpretation of seismic and electro-tomography data, and results from basin and geomechanical modeling. The comprehensive analysis revealed not only an inverse relationship between the proximity to the Tympuchikan Thrust and the secondary calcite content but also a coincidence between the strike of conductive fractures and the thrust direction. This provides direct evidence that the tectonic faults acted as a drainage system for the migration of mineralized fluids, which prevented calcite precipitation. It is concluded that the proximity to the thrust is a qualitative criterion for predicting zones with improved reservoir properties in Reservoir B1, offering opportunities for effective exploration planning in understudied areas with similar structural settings.

***Keywords**: osinsky horizon, secondary calcitization, tectonic faults, Tympuchikan Thrust, reservoir properties, reservoir, LithoScanner, basin modeling*

Введение

Коллектор пласта Б1 состоит преимущественно из доломита и характеризуется вторичной кальцитизацией, которая ухудшает фильтрационно-емкостные свойства коллектора (Городнов и др., 2012). При этом на данном этапе у нас нет понимания как спрогнозировать вторичные преобразования в межскважинном пространстве. Как отмечает автор Н.В. Мельников, 2018 г., возможно содержание кальцита связано с гипсометрическими отметками палеоусловий. Также, возможно есть связь с локальной трещиноватостью, которая могла создать благоприятные условия для просачивания воды вверх по разрезу из-за чего снижается кальцитизация коллектора.

Чтобы проработать данные гипотезы и найти закономерности по площадному распространению вторичного кальцита мы обратились к бассейновой модели территории исследования.

Приведем основные этапы формирования территории (рис. 1):

в рифейское время в Восточной Сибири отложения формировались в прогибах, произошло заложение рифейских авлакогенов, представленных в бассейновой модели узкими грабенами, происходило раскрытие Палеоазиатского океана;

в результате байкальской складчатости на рубеже рифей-вендского времени произошло смятие и деформация рифейских отложений с их последующей частичной или полной эрозией. Этот этап не учтен в модели в связи с отсутствием информации по нему (геометрия слоев, степень сжатия и т. д.);

в венд-ордовикское время шло постепенное погружение Непско-Ботуобинской антеклизы и накопление осадков преимущественно в условиях пассивной континентальной окраины;

в позднем кембрии-ордовике на территории антеклизы были зафиксированы перерывы в осадконакоплении, являющиеся результатом деятельности салаирской складчатости;

на рубеже силура-девона в результате коллизии Баргузинского террейна произошло формирование Байкало-Патомской складчатой области, выраженное образованием

надвиговых деформаций на территории НБА
и в Предпатомском прогибе.

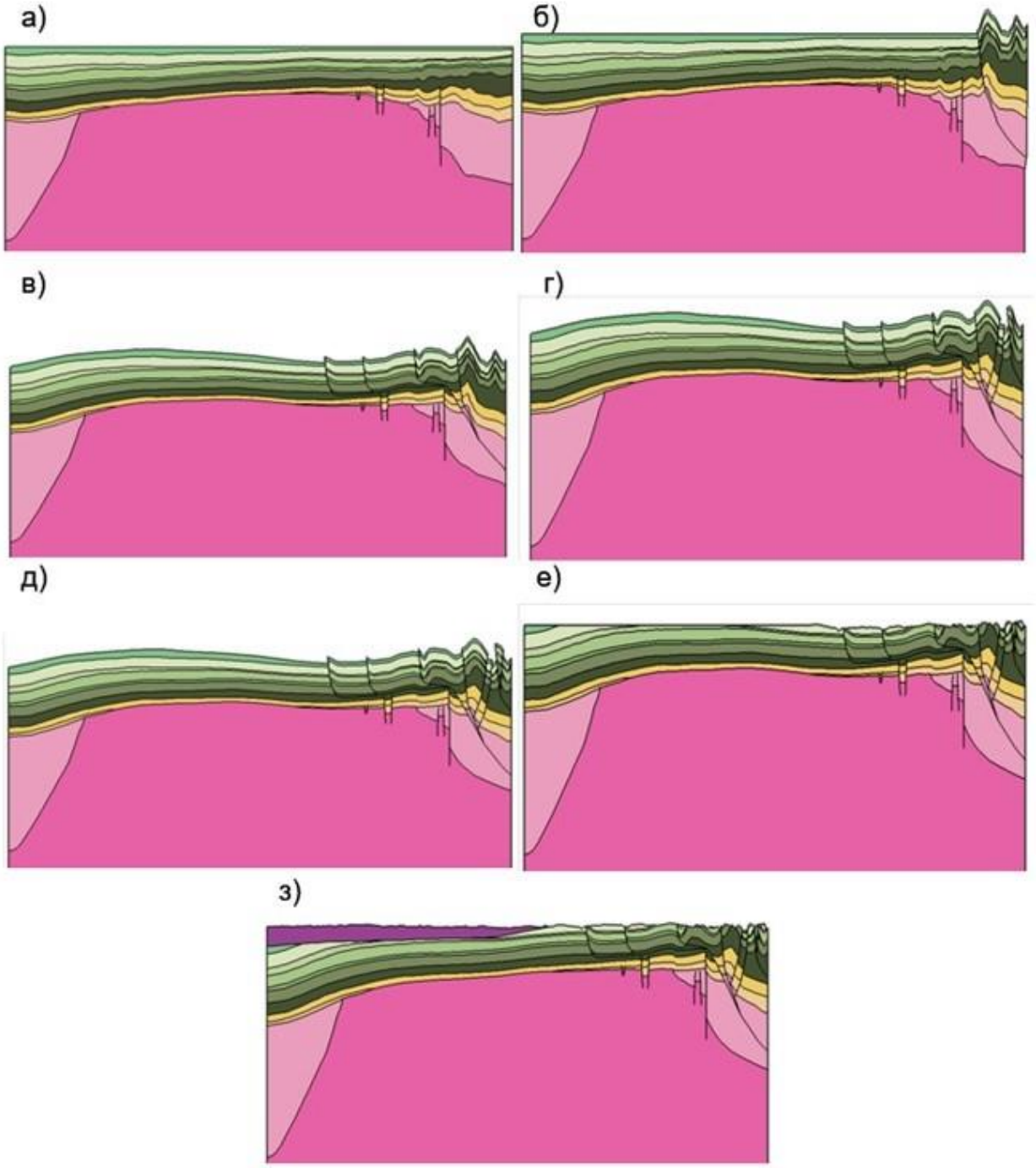

Рис. 1. Этапы формирования территории исследования. Соотношение вертикального масштаба к горизонтальному 1:30.

а) преддеформационный разрез; б) начало надвигообразования: первый надвиг; в) продвижение фронта надвигов; г) образование обратных надвигов; д) завершение надвигообразования; е) эрозия; з) современный разрез.

Fig. 1. Stages of the formation of the study territory. The ratio of the vertical scale to the horizontal scale is 1:30.

а) Pre-deformation section; б) Initiation of thrusting: the first thrust; в) Advance of the thrust front; г) Formation of back thrusts; д) Completion of thrusting; е) Erosion; з) Present-day section.

Исходные данные

На исследуемом месторождении пробурено 12 скважин, в которых записан литосканер, по анализу результатов которого делаем вывод, что карбонатные породы состоят преимущественно из доломита, с вторичной кальцитизацией, также в некоторых из этих скважин записан Formation MicroImager, на основании которого была построена геомеханическая модель. Также на территории месторождения выполнены 3D сейсморазведочные работы в 2012–2016 гг., в добавок к ним выполнялись электроразведочные работы, результаты которых могут дополнить сейсмическую информацию. Бассейновая модель хоть и не строилась локально для данного месторождения, но описывает более обширную территорию, которая включает в себя и участок работ.

Методы исследования

Для решения поставленной задачи был применен комплекс методов, включающий интерпретацию данных сейсморазведки и электроразведки (ЗСБ), геомеханическое моделирование, а также анализ данных ГИС.

Следует отметить, что построение обоснованной глубинно-скоростной модели со сложностями использования сейсмических и скважинных данных, которые вызваны как геологическими, так и техническими причинами. К первым относится сложное строение территории. В основании разрез представлен кристаллическим фундаментом, осложнённым грабенами и выступами. Фундамент перекрывается терригенным комплексом мощностью от более чем 200 м в Ербогачено-Чуйском грабене до десятка метров с уменьшением в северо-западном направлении с полным выклиниванием в зонах выступов фундамента. Выше разрез представлен переслаиванием акустически контрастных карбонатно-галогенных слоёв, перекрытых в верхней части терригенными отложениями.

Территорию исследования пересекает региональный Тымпучиканский надвиг (рис. 2), генетически являющийся фронтальным рампом Байкало-Патомского складчато-надвигового пояса. Надвигом и парагенетическими надвигами, и взбросами затронуты породы усольской свиты и рельеф. Помимо прочего разрез осложнён интрузивными телами (дайками и силлами). Дайками разрез нарушен от фундамента до дневной поверхности, хотя большая часть даек затухает в средней карбонатно-галогенной части разреза. В породы ангарской и литвинцевской свит внедрены силлы долеритов. Основной силл, мощностью до 100 м располагается в толще ангарской свиты в западной части, бронирован Тымпучиканским надвигом. Второстепенный силл ангарской свиты и силл литвинцевской свиты приурочены к антиклинальной складке надвига, частично выходят на поверхность.

Также в разрезе выделяются зоны скучивания галогенных пород ангарской и бельской свит по обеим сторонам от надвига. В зоне надвига предполагается область растворения и отсутствия солей ангарской и бельской свит.

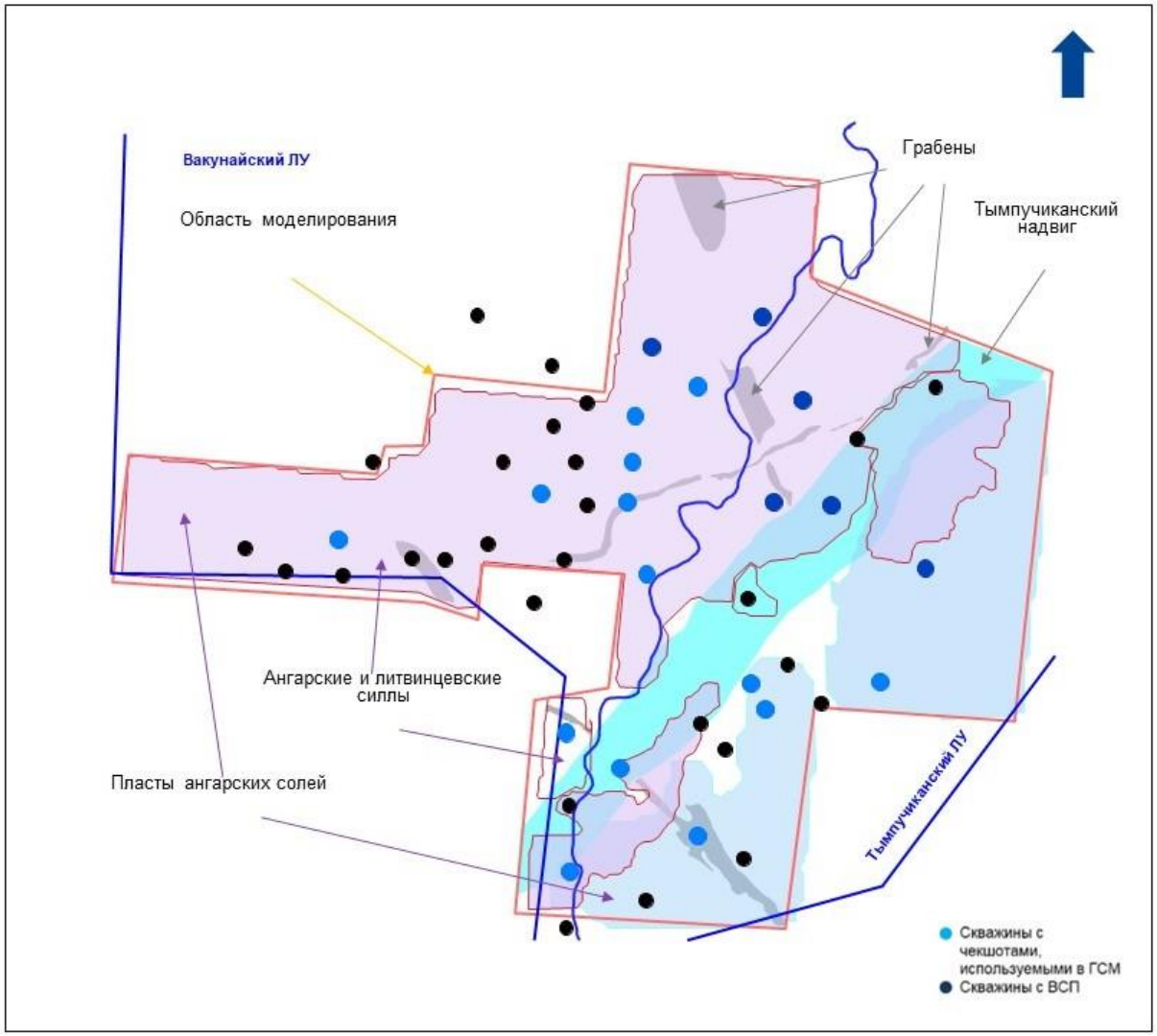

Рис. 2. Карта геологических объектов и структур Тымпучиканского и Вакунайского ЛУ.

Fig. 2. Map of geological objects and structures of the Tympuchikan and Vakunaysky License Areas.

Несмотря на сравнительно не высокую разрешающую способность метода становления поля в ближней зоне (ЗСБ) и, возможную недостоверность, вызванную некорректной инверсией в отличной структурной модели, анализ данных ЭРР позволил уточнить интерпретацию сейсмических материалов.

На кубе удельного электрического сопротивления (УЭС), полученного в результате инверсии полевых электроразведочных данных ЗСБ выделяются зоны развития траппового комплекса (рис. 3). На разрезах сопротивления оранжевого цвета соответствует большему сопротивлению, синие – меньшему. Ввиду низкого качества сейсмических данных в приповерхностной зоне интерпретация профилей мЗСБ позволила уточнить зону складки Тымпучиканского надвига – добавлены осложняющие взбросы, выделены интрузивные тела.

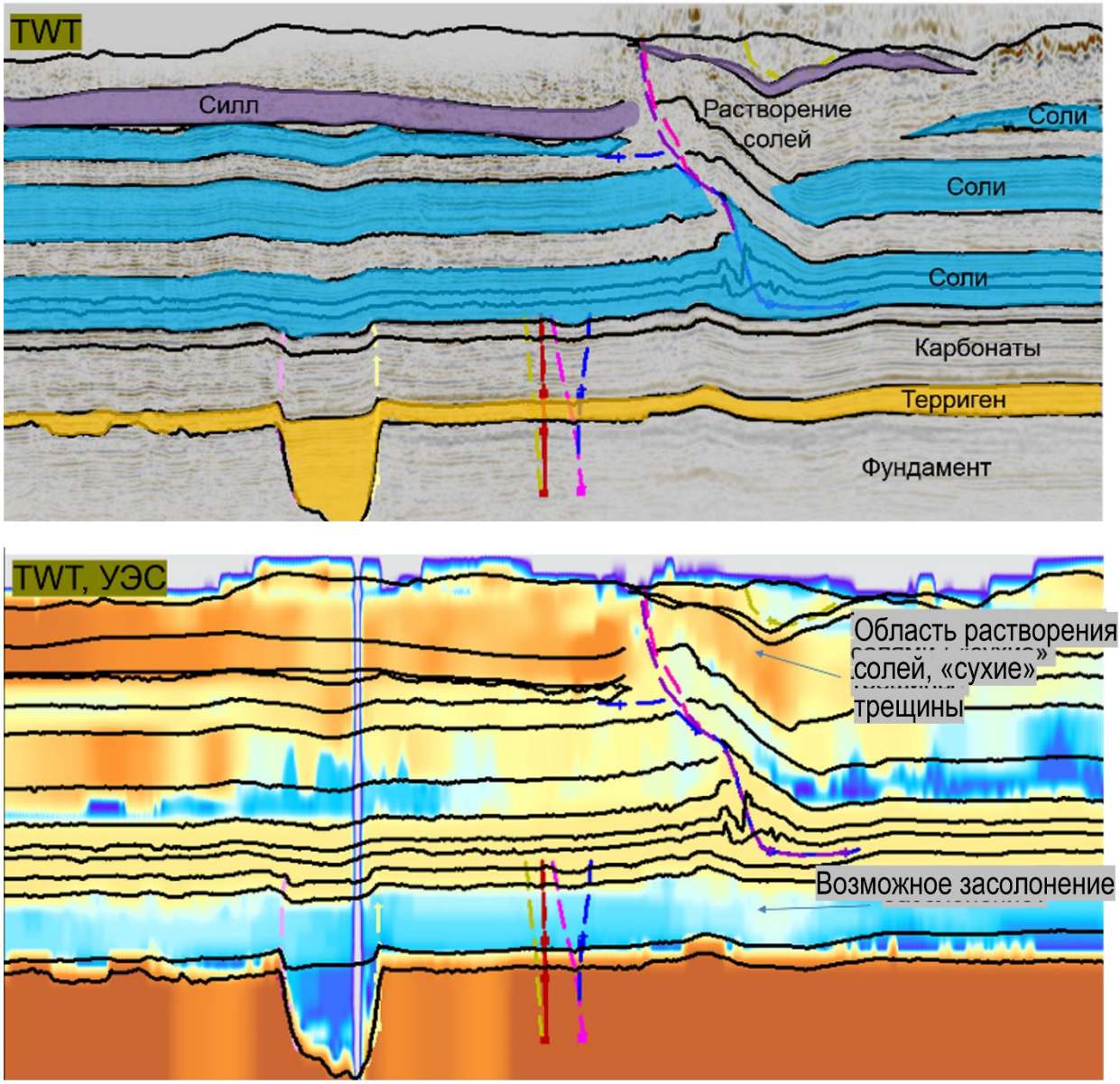

Рис. 3. Сейсмический разрез нанесенной интерпретацией геологических объектов (сверху), разрез куба УЭС (снизу).

Fig. 3. Seismic section with interpreted geological objects (top), section of the resistivity cube (bottom).

Результаты исследования

Анализируя полученные результаты (понимание тектонических особенности развития района работ, а также петрографический состав пород в скважинах) обнаруживается закономерность содержание кальцита в скважинах с записанным lithoscanner в зависимости от их территориального расположения. По результатам обнаружена связь между низким содержанием кальцита и локализацией Тымпучинканского надвига (рис. 4). Отсюда можно сделать вывод, что механизм кальцитизации связан с длительным нахождением воды, насыщенной минералами кальцита (рассолами) в пласте, и в тех зонах, где выше по разрезу есть тектонические нарушения, по которым минерализованная вода могла уходить – содержание вторичного кальцита ниже.

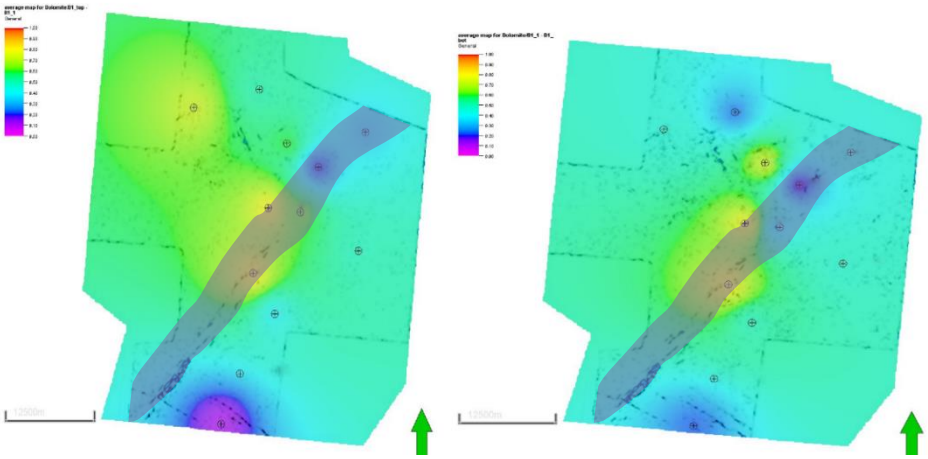

Рис. 4. Сравнение наложением карты по данным Ant-Tracking и данным LitoScanner по содержанию кальциту по кровельной части пласта Б1 (слева) и по подошвенной части пласта Б1 (справа).

Fig. 4. Comparison by overlay of the Ant-Tracking data map and Lithoscanner data on calcite content in the top part of Reservoir B1 (left) and the bottom part of Reservoir B1 (right).

Также для проверки этой гипотезы был проведен анализ направленности проводящих трещин по данным микроимиджерного каротажа (FMI). Установлено, что преобладающее направление простирания проводящих трещин совпадает с простиранием Тымпучиканского надвига: СВ (30°-50°) – ЮЗ (210°-230°). Это может быть подтверждением того, что надвиг и связанная с ним трещиноватость формируют единую проводящую систему, которая могла служить каналом для миграции минерализованных флюидов и оттока рассолов, насыщенных кальцитом.

Обсуждение результатов

После седиментации и литификации карбонатных осадков, когда происходило осаждение метеорных и седиментационных вод, насыщенных ионами кальция и гидрокарбоната, произошли активные тектонические движения, создавшие систему высокопроницаемых каналов в районе Тымпучиканского надвига. В зонах, прилегающих к надвигу, создались условия для направленного оттока минерализованных вод, насыщенных ионами Ca^{2+}. Постоянный вынос этих ионов из порового пространства пласта не позволял раствору достигать химического равновесия, необходимого для осаждения кальцита. Таким образом, вблизи каналов дренирования сам процесс кальцитизации подавлялся. Породы в этих зонах сохранили свои первичные или ранние вторичные ФЕС, не будучи ухудшены поздней кальцитизацией.

Интерпретация данных электроразведки (ЗСБ) качественно подтверждает предложенную модель. На кубе удельного электрического сопротивления (УЭС) в изучаемом интервале отчетливо выделяются линейные аномалии высокого сопротивления (см. рис. 3), приуроченные к зоне влияния Тымпучиканского надвига. В карбонатных породах подобные аномалии интерпретируются как зоны развития вторичной трещиноватости и кавернозности. Предположительно эти трещины были заполнены высокоомным флюидом (углеводородами), что и обусловило высокие значения УЭС.

Данное наблюдение согласуется с гипотезой о том, что тектонические нарушения выполняли роль дренажной системы. Высокоомные линейные зоны, совпадающие с надвигом, маркируют пути, по которым происходила миграция флюидов. Именно по этим каналам минерализованные воды, насыщенные ионами кальция, могли дренироваться из пласта Б1, предотвращая процессы вторичной кальцитизации и формируя, таким образом, зоны с улучшенными ФЕС, выявленные по данным LithoScanner.

Наши выводы согласуются с исследованиями В.С. Воробьева и др., 2016, 2017 гг.,

которые также отмечают, что основными факторами, определяющими галитизацию пород, являются палеотектоническая активность района, близость к разломам, вдоль которых проходила миграция солей, и гидродинамическая связь песчаных тел с зонами нисходящей фильтрации высокоминерализованных рассолов.

Возможно, трещины присутствуют и ниже пласта Б1, но на данный момент сейсмические данные не позволяют нам достоверно выделить их в силу низкой разрешающей способности.

Выводы

На основе комплекса геолого-геофизических данных установлена устойчивая обратная зависимость между близостью к зоне Тымпучиканского надвига и содержанием вторичного кальцита в породах пласта Б1. Это подтверждается данными LithoScanner по 12 скважинам, которые показывают, что минимальные содержания кальцита фиксируются в непосредственной близости от тектонического нарушения.

Предложена качественная генетическая модель, согласно которой тектонические нарушения служили каналами для дренирования минерализованных пластовых флюидов. Вынос ионов кальция вдоль этих зон предотвращал их осаждение в виде цемента, что объясняет лучшие коллекторские свойства в околоповерхностных частях разлома.

Установлено, что близость к надвигу может использоваться как качественный критерий для прогнозирования зон с улучшенными ФЕС в пределах осинского горизонта. Это позволяет выделять перспективные участки для планирования геологоразведочных работ даже в условиях отсутствия количественных сейсмических прогнозов, что актуально для слабоизученных участков с аналогичным тектоническим строением.

Показана эффективность комплексного подхода, интегрирующего данные ГИС (LithoScanner, FMI), сейсморазведки (Ant-Tracking) и электроразведки (ЗСБ) для решения задач прогноза вторичных изменений коллекторов. Совместный анализ разнородных данных позволил перейти от констатации факта к построению причинно-следственной модели формирования свойств коллектора.

Литература

Городнов А.В., Черноглазов В.Н., Давыдова О.П. Определение фильтрационно-емкостных свойств засолоненных коллекторов в терригенных отложениях Непского свода Восточной Сибири // Научно-технический вестник Каротажник. Тверь : 2012. Вып. 12 (222). С. 25–41.

Воробьев В.С., Чеканов И.В., Клиновая Я.С. Модель распространения терригенных коллекторов и засолоненных песчано-гравелитистых отложений в пределах месторождений центральной части Непского свода // Геология нефти и газа. Москва : 2017, №3. С. 47–60.

Воробьев В.С. Закономерности распределения коллекторов и интервалов засолонения в терригенном комплексе венда Чонской группы месторождений (Восточная Сибирь) / В.С. Воробьев, Л.Н. Шакирзянов, Е.А. Жуковская // Тез. конф. Проблемы и опыт разработки трудноизвлекаемых запасов нефтегазоконденсатных месторождений. Санкт-Петербург : 2015.

Мельников Н.В. Венд-кембрийский солеродный бассейн Сибирской платформы (Стратиграфия, история развития). 2-е изд., доп. Новосибирск : Издательство СНИИГГиМС, 2018. 177 с.

References

Gorodnov A.V. Determination of filtration-capacity properties of salinized reservoirs in terrigenous deposits of the Nepa Arch of Eastern Siberia / A.V. Gorodnov, V.N. Chernoglazov, O.P. Davydova // Scientific and Technical Bulletin "Karotazhnik". Tver : 2012. Vol. 12 (222). P. 25-41.

Vorobiev V.S. Model of distribution of terrigenous reservoirs and salinized sandy-gravelly deposits within the fields of the central part of the Nepa Arch / V.S. Vorobiev, I.V. Chekanov, Ya.S. Klinovaya // Geology of Oil and Gas. Moscow : 2017, No. 3. P. 47–60.

Vorobiev V.S. Patterns of distribution of reservoirs and salinization intervals in the Vendian terrigenous complex of the Chonsk group of fields (Eastern Siberia) / V.S. Vorobiev, L.N. Shakirzyanov, E.A. Zhukovskaya // Abstracts of the conference "Problems and Experience in Developing Hard-to-Recover Reserves of Oil and Gas Condensate Fields". Saint Petersburg : 2015.

Melnikov N.V. Vendian-Cambrian Salt-Bearing Basin of the Siberian Platform (Stratigraphy, History

of Development) / N.V. Melnikov. 2nd ed. Novosibirsk : SNIIGGiMS Publishing House, 2018. 177 p.

Валиуллин Артур Расимович,
Группа компаний «Газпром нефть»,
190000, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Почтамтская, д. 3-5,
главный специалист,
тел: +7(3452) 685 670 (доб. 6392),
email: Valiullin.ar@gazprom-neft.ru
Valiullin Artur Rasimovich,
Gazprom neft company group,
3–5, Pochtamtamtskaya st., 190000, Saint Petersburg, Russia,
Main Specialist,
tel: +7(3452) 685 670 (dob. 6392),
email: Valiullin.ar@gazprom-neft.ru

Захарова Валерия Александровна,
Тюменский государственный университет,
625003, Россия, Тюмень, ул. Володарского, д. 6,
специалист,
email: Zakharova.va@contractor.gazprom-neft.ru
Zakharova Valeriia Aleksandrovna,
Tyumen State University,
6, Volodarskogo str. 625003, Tyumen, Russia,
Specialist,
email: Zakharova.va@contractor.gazprom-neft.ru