

УДК 553.981+550.8

DOI 10.31087/0016-7894-2022-5-5-16

Геологическое строение и перспективы газоносности отложений верхнеберезовской подсвиты кампанского возраста на примере одного из месторождений Западной Сибири

© 2022 г. | Л.Р. Дистанова, Н.В. Нассонова, А.И. Кудаманов

ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия; irdistanova@tnnc.rosneft.ru; nvnassonova@tnnc.rosneft.ru; aikudamanov@rosneft.ru

Поступила 04.07.2022 г.

Доработана 29.07.2022 г.

Принята к печати 05.08.2022 г.

Ключевые слова: березовская свита; верхнеберезовская подсвита; ОКТ-фаза кремнезема; рентгенофлуоресцентный анализ химического состава породы; рентгеноструктурный анализ; литолого-минералогические исследования.

Аннотация: Текущее состояние разработки месторождений сеноманского газа на территории Западной Сибири свидетельствует о необходимости восполнения и приращения запасов углеводородов, в том числе за счет коллекторов надсеноманской части разреза, с которыми связаны нередкие проявления и притоки газа. Перспективные отложения березовской свиты залегают на 100–150 м выше кровли сеноманских отложений и широко распространены в Западной Сибири. Актуальность исследований связана с тем, что испытания березовской свиты на месторождении подтвердили промышленную продуктивность пласта ВБ₁. В статье обобщены результаты геологического изучения пласта ВБ₁ березовской свиты кампанского возраста на примере одного из месторождений Западной Сибири. Продуктивный пласт ВБ₁ на изученном месторождении сформировался в условиях развития глобальной надсеноманской трансгрессии и отражает локальный эпизод регрессии в среднем кампане. В результате комплексного анализа геолого-геофизических данных (сейсморазведка, картаж, данные по керну) определены обстановки седиментации. Отложения пласта на изученном месторождении сформировались в мелководно-морских условиях. Породы представлены преимущественно алевролитами мелко-крупнозернистыми, глинистыми алевролитами и являются продуктами эрозии слабосцементированных осадков нижележащих отложений. Удаленность от источника сноса предопределила тонкозернистый состав. Проведенный анализ геолого-геофизических данных позволил выявить закономерности пространственного распределения перспективных газоносных отложений пласта ВБ₁.

Для цитирования: Дистанова Л.Р., Нассонова Н.В., Кудаманов А.И. Геологическое строение и перспективы газоносности отложений верхнеберезовской подсвиты кампанского возраста на примере одного из месторождений Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 2022. – № 5. – С. 5–16. DOI: 10.31087/0016-7894-2022-5-5-16.

Geological structure and gas potential of Campanian Verkhneberezovsky member by the example of one West Siberian field

© 2022 | L.R. Distanova, N.V. Nassonova, A.I. Kudamanov

Tyumen Petroleum Research Center, Tyumen, Russia; irdistanova@tnnc.rosneft.ru; nvnassonova@tnnc.rosneft.ru; aikudamanov@rosneft.ru

Received 04.07.2022

Revised 29.07.2022

Accepted for publication 05.08.2022

Key words: Berezovsky Formation; Verkhneberezovsky member; Opal-Cristobalite-Tridymite phase of silica; X-ray fluorescence analysis of rock chemical composition; lithological and mineralogical studies.

Abstract: The current state of Cenomanian gas fields development in Western Siberia is indicative of the need to replace and augment hydrocarbon reserves, including the increase on account of the reservoirs of above-Cenomanian part of the section, which the often gas shows and influxes are associated with. The promising Berezovsky deposits occur 100–150 m above the Cenomanian Top; they are very common in Western Siberia. Topicality of the studies responds to the fact that testing of Berezovsky Formation in the field have confirmed the commercial productivity of ВБ₁ reservoir. The paper summarizes the results of geological studies of ВБ₁ bed (Campanian Berezovsky Formation) by the example of one West Siberian fields. In the field under consideration, ВБ₁ pay zone was formed in the settings of global development of the above-Cenomanian transgression; it is a reflection of local regression event in the Middle Campanian. The results of integrated analysis of geological and geophysical data (seismic, well logging, and core data) allowed determining depositional settings. Reservoir deposits in the field under consideration were formed in shallow-marine environment. The rocks are represented mainly by fine-coarse-grained siltstone, argillaceous siltstone; they are the product of erosion of poorly consolidated underlying

deposits. Remoteness of provenance area predetermined the fine-grained composition. Analysis of geological and geophysical data resulted in identification of spatial distribution patterns for the promising gas-bearing deposits of ВВ₁ reservoir.

For citation: Distanova L.R., Nassonova N.V., Kudamanov A.I. Geological structure and gas potential of Campanian Verkhneberезовский member by the example of one West Siberian field. *Geologiya nefi i gaza*. 2022;(5):5–16. DOI: 10.31087/0016-7894-2022-5-5-16. In Russ.

Введение

Текущее состояние разработки месторождений сеноманского газа на территории Западной Сибири свидетельствует о необходимости восполнения и приращения запасов УВ, в том числе за счет коллекторов надсеноманской части разреза, с которыми связаны нередкие проявления и притоки газа.

К надсеноманской части разреза верхнего мела (турон-маастрихтского возраста) в пределах изучаемого месторождения относятся отложения кузнецовской, березовской и ганькинской свит. Березовская свита (коньяк – сантон – кампан) и ее аналоги залегают под ганькинским горизонтом (маастрихт), подстилаются кузнецовским горизонтом (турон – нижний коньяк) и включают два горизонта (нижнеберезовский и верхнеберезовский). Глубина залегания кровли свиты изменяется преимущественно в пределах от 500 до 1200 м. Общая мощность березовской свиты составляет 200–300 м. По результатам анализа больших объемов ГИС и лабораторного изучения керн в объеме свиты было выделено и описано четыре пласта нижнеберезовского горизонта – НБ₄, НБ₃, НБ₂, НБ₁ и четыре пласта верхнеберезовского горизонта – ВВ₃, ВВ₂, ВВ₁, ВВ₀ [1–8] (рис. 1). Отложения верхнеберезовского горизонта (*подсвиты*) – биогенно-хемогенные (глинистого состава), с эпизодами терригенного типа седиментации (алевролиты), с примесью кремнистого материала – формировались преимущественно в условиях позднемеловой трансгрессии Западно-Сибирской плиты.

Цели данной проведенной работы – изучение геологического строения и структуры порового пространства пород пласта ВВ₁ на месторождении и перспективы газоносности.

Актуальность исследований связана с тем, что испытания березовской свиты на месторождении подтвердили промышленную продуктивность пласта ВВ₁: по данным испытания скважин, дебит газа без гидроразрыва пласта составляет до 50 тыс. м³/сут [9]. Проведение гидроразрыва в пласте ВВ₁ способствует повышению продуктивности. По данным исследований пласта, практически во всех испытанных скважинах выход на радиальный режим отмечается уже с 10–39 ч записи кривой восстановления давления. По данным исследований керн, проницаемость пласта $K_{пр}$ составляет 0,008–0,01 мкм², по данным гидродинамических исследований скважин – $K_{пр} = (1,38–3,03) \cdot 10^{-3}$ мкм². Ввиду высокой глинистости и малых глубин залегания пласт обладает относительно высокой пористостью и низкой газонасыщенностью. При этом, по данным сейсморазведочных исследований, для изучаемых отложений характерны интенсивные динамические аномалии, установленные еще на двух

лицензионных участках и на изученном месторождении (на последнем – с подтвержденной газоносностью).

Строение верхнеберезовской подсвиты

Породы нижнеберезовской подсвиты (коньяк-сантонского возраста) залегают на кузнецовской свите (кровле мярояхинской пачки). Нижнеберезовская свита представлена опоковидными глинами (пласты НБ₄, НБ₂) с незначительной примесью терригенного материала (пласт НБ₃), в кровле – неравномерно-глинистыми опоками (пласт НБ₁).

Рассмотрим подробнее строение верхнеберезовской подсвиты. Отложения подсвиты залегают на эрозионной поверхности в кровле хэяхинской пачки (пласта опок НБ₁) и представлены неравномерно-кремнистыми глинами (пласты ВВ₃, ВВ₂, ВВ₀) и привнесенными алевролитами из пласта ВВ₁.

Для пласта ВВ₃ характерно значительное содержание кремневых агрегатов тонкоалевритовой и пелитовой размерности (пониженные значения кривой гамма-каротажа) (см. рис. 1).

Рассеянная примесь микроскопических обломков опок не имеет заметного влияния на коллекторские свойства отложений, однако снижает плотность пород, повышает их пористость, что может ухудшать экранирующие свойства покрышки для нижезалегающего газонасыщенного пласта НБ₁ и создавать вероятность рассеивания УВ вверх по разрезу.

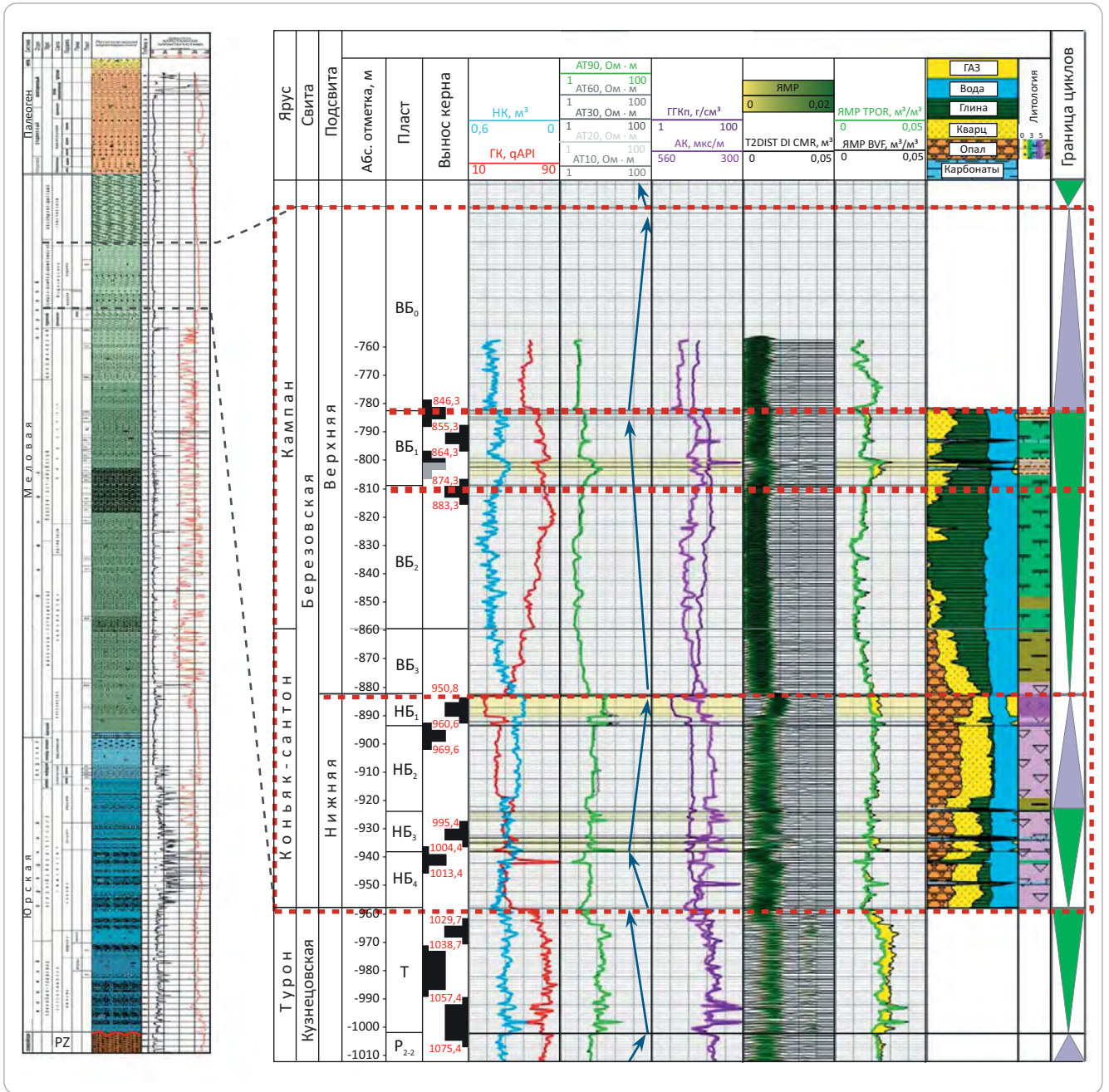
Пласт ВВ₂ представлен темно-серыми кремнистыми глинами с органическими остатками. Характерна умеренная степень биотурбации.

Вверх по разрезу значение кремнистой составляющей практически стремится к нулю, и для пласта ВВ₁ весьма характерна преобладающая роль терригенного материала (аллохтонный тип осадконакопления), что можно объяснить относительно малоамплитудными вертикальными движениями дна, нестабильностью условий жизнедеятельности и усилением темпов седиментации за счет терригенных источников на северо-востоке Западно-Сибирской плиты. Пласт представлен алевролитами и глинистыми алевролитами.

Судя по всему, развитие регрессии было постепенным: по керну верхняя граница пласта ВВ₂ однозначно не установлена (по данным ГИС, граница ВВ₂ и ВВ₁ уверенно интерпретируется в редких случаях, как исключение).

Результаты региональных исследований на северо-востоке Западно-Сибирской плиты показали, что тело алевролитов пласта ВВ₁ имеет клиновидную форму, что отражает регрессию территории в среднем кампане, понижение уровня моря, нако-

Рис. 1. Сводный геолого-геофизический разрез отложений березовской свиты
 Fig. 1. Composite geological and geophysical column of the Berezovsky Formation deposits



пление в прибрежной части на северо-востоке западно-сибирского обломочного материала, сноса с Сибирской платформы флювиальным (плоскостной смыв) и частично аэрозольным (эоловым) способами транспортировки с гораздо большей скоростью относительно нижележащих трансгрессивных, в основном автохтонных осадков [5].

Осадконакопление преимущественно глинистого пласта ВБ₀ автохтонного типа, перекрывающего пласт ВБ₁, является результатом очередного этапа позднемеловой (поздний кампан) трансгрессии глобального характера. К юго-западу, на большей части площади Западно-Сибирской плиты, в разрезе кампанского яруса неравномерно-кремни-

стые глины пачек ВБ₂–ВБ₃ и ВБ₀ сливаются, уверенно разделить их по данным ГИС невозможно.

Таким образом, для верхнеберезовской подсвиты характерно глинисто-кремнистое накопление, породы состоят в основном из кремнистой и глинистой составляющих в различных соотношениях. Вверх по разрезу доля кремнистых компонентов постепенно снижается; локальная регрессия (средний кампан) отмечается за счет накопления пласта ВБ₁, с преобладанием неравномерно-глинистых алевролитов (интенсивное влияние терригенных источников). Пласт ВБ₁ с присутствием коллекторов выделен только на северо-востоке Западно-Сибирской плиты и простирается узкой

полосой с северо-запада на юго-восток. Распространение алевролитов на юго-запад контролируется, по всей видимости, зоной трансевразийского сдвига [8]. По данным ГИС и керн, литолого-петрофизические свойства пласта ВВ₁ на территории месторождения Х аналогичны характеристикам нетрадиционных коллекторов газалинской пачки кузнецовского горизонта (средний – верхний турон), что отражает генетическую близость обстановок и условий их формирования. Наличие в алевролитах (газалинской пачки и пласта ВВ₁) заметной примеси зерен глауконита со следами слабого окатывания, вероятно, свидетельствует о малоамплитудном воздымании территорий восточного и северо-восточного обрамлений Западной Сибири. Это сопровождалось выходом на субаэральную поверхность глинистых, обогащенных глауконитом толщ (дорожковской свиты и пласта ВВ₂ соответственно), развитием выветривания (эрозии) и перемещением продуктов выветривания вниз по склону прибрежного рельефа (плоскостной смыв и ветровой разнос).

Методы лабораторных исследований

Комплекс лабораторных работ по изучению отложений пласта ВВ₁ верхнеберезовской подсвиты, выполненных в Центре исследований керн Тюменского нефтяного научного центра, включает: профильные исследования; литологическое описание керн; гранулометрические анализы; литолого-минералогические исследования; рентгеноструктурный анализ общего состава породы ($РСА_{пор}$) — количественное определение общего минерального состава; рентгеноструктурный анализ пелитовой фракции породы ($РСА_{глин}$) — определение минерального состава пелитовой фракции; рентгенофлуоресцентный анализ химического состава породы (РФА) — определение элементного состава; изучение в прозрачных шлифах под поляризационным микроскопом; изучение образцов пород при большом увеличении (в несколько тысяч раз) с использованием растрового электронного микроскопа (РЭМ) со встроенным рентгеновским микроанализатором химического состава компонентов (кристаллических минералов и аморфных агрегатов) породы; изучение пустотного пространства породы по технологии комплексного мультимасштабного исследования внутренней структуры на мезо-, микро- и наномасштабах.

Лабораторное изучение отложений пласта ВВ₁ выполнено комплексом методов по керну шести скважин месторождения.

Анализ результатов исследований

Методика определения газонасыщенных толщин для отложений березовской свиты **по данным ГИС** характеризуется высокой степенью неопределенности. Прямые качественные признаки не работают, использование граничных значений пористости также невозможно из-за отсутствия контраста

пористости между коллекторами и неколлекторами. Это объясняется недоуплотнением глин и их высокой пористостью (около 30 %) за счет небольшой глубины залегания отложений.

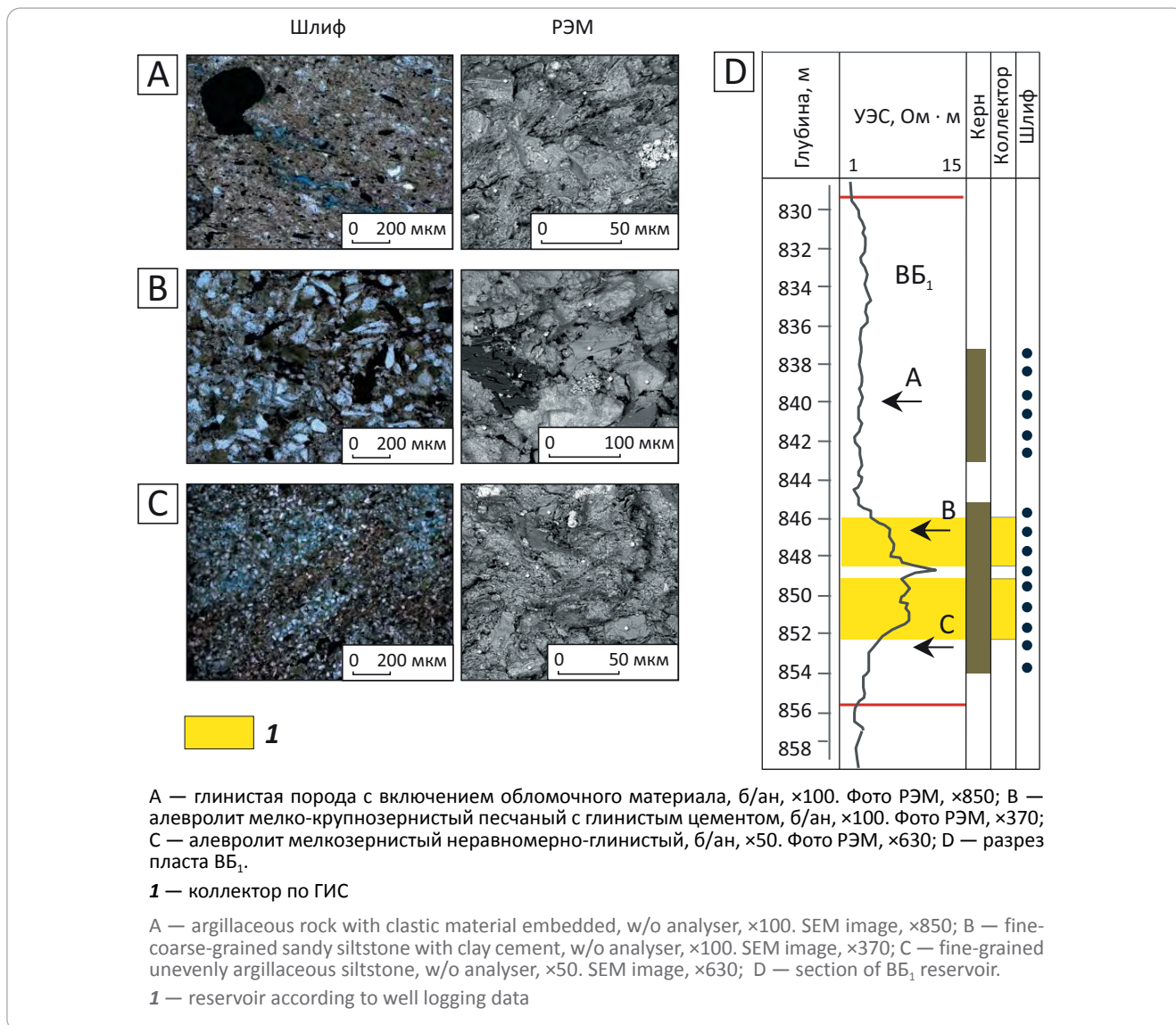
Лучшим решением является выделение коллекторов по данным ядерно-магнитного каротажа в скважинах, пробуренных на растворе УВ-основы. В этих скважинах на кривых распределения T_2 отмечается дополнительная мода, которая формируется от керосина (в составе раствора УВ-основы), попавшего в пласт при формировании зоны проникновения. В скважинах, пробуренных на растворе водной основы, эта мода не наблюдается. Наличие этой моды объясняется более длительным временем релаксации (T_2) водорода, входящего в состав керосина [10, 11].

По данным ГИС эффективные газонасыщенные толщины в пласте изменяются от 1,3 до 8,5 м (в среднем 4,7 м), коэффициент пористости высокий и составляет 22,1–36,6 % (в среднем $K_p = 29$ %). Рассматриваемые отложения на месторождении являются газонасыщенными, коэффициент газонасыщенности от 15 до 43,3 % (в среднем $K_g = 29$ %), проницаемость в среднем $K_{пр} = 0,0042$ мкм². Достоверные определения проницаемости по керну отсутствуют. Выдержанная связь проницаемости с открытой пористостью как для всего горизонта березовской свиты, так и для отдельных пластов не установлена [10].

По данным **анализа шлифов** в нижней части пачки ВВ₁ на месторождении порода представлена алевролитом мелко-крупнозернистым песчаным полимиктовым, неравномерно-глинистым (рис. 2 С). Цемент глинистый, по составу в основном иллитовый, реже хлоритовый, в виде скоплений чешуйчатых микроагрегатов, заполняющих поровое пространство, реже в виде пленок на поверхности зерен. Отмечается примесь обломочного материала (до 60–80 % в центральной части площади, сокращаясь на севере месторождения до 40–60 %) алевритовой размерности. Вверх по разрезу доля алеврита увеличивается. Межзерновые поры открытого типа редкие, распределены отдельными участками, изометричной и щелевидной формы.

В средней продуктивной части пачки порода представлена алевролитом мелко-крупнозернистым песчаным полимиктовым, с глинистым цементом, до песчаника мелко-тонкозернистого с глауконитом и редкими биогенными остатками (см. рис. 2 В). Отмечается ведущая роль обломочного материала (до 85–90 %). В составе обломков пород алевритопсаммитовых фракций преобладает кварц и полевые шпаты. Доля глауконита составляет до 20–25 % площади шлифа. Цемент глинистый, по составу иллитовый, реже каолинитовый и хлоритовый. Скопления чешуйчатых микроагрегатов глинистого материала неравномерно заполняют межзерновое пространство. Межзерновые поры открытого типа многочисленные, распределены неравномерно, изометричной и щелевидной формы, как сообщающиеся между собой, так и изолирован-

Рис. 2. Литологическая характеристика отложений пласта ВБ₁
Fig. 2. Lithological characteristics of ВБ₁ reservoir deposits



ные. Наблюдаются межагрегатные микропоры — в скоплениях глинистого порового цемента.

Вверх по разрезу доля алеврита сокращается, доля пелитовой фракции увеличивается. Порода состоит из глинистой массы, обломочных зерен (20–30 %), пирита (≈ 3–5 %), органических остатков, ОВ, глауконита (ед.) (см. рис. 2 А). Обломочный материал, в основном мелкоалевритовой размерности, представлен изометричными и слабоудлиненными, угловатыми и полуугловатыми зернами кварца, реже полевого шпата, которые довольно равномерно рассеяны в основной массе породы. Межзерновые поры открытого типа не наблюдаются.

Осадочный материал пласта ВБ₁ генетически представлен преимущественно продуктами эрозии нижележащих горизонтов (отложений нижнеберезовской подсвиты и кузнецовской свиты) среднего кампана на северо-востоке Западно-Сибирской плиты, вышедших на субаэральный уровень [4] (рис. 3) и, возможно, дальними источниками сноса.

В результате денудации (разрыхления и перемещения) слабощементированных отложений формировались вдольбереговые барьеры (острова, косы и пр.) и вдольбереговые лагуны (понижения). Между ними, возможно, эпизодически имели место листрические оползни. К северо-востоку Западно-Сибирской плиты, вероятно, размерность обломочного материала будет увеличиваться, в том же направлении будет опесчаниваться покрывка, а потому сохранность залежей газа маловероятна.

Результаты **гранулометрических исследований** свидетельствуют о том, что в отложениях пласта ВБ₁ на месторождении преобладают алевриты — 55–89 % (в среднем 70 %), пелитовые фракции составляют от 0 до 42 % (в среднем 19 %), также отмечается неравномерная примесь песчаного материала — от 2 до 35 % (в среднем 10,6 %).

По данным **рентгеноструктурного анализа** (РСА_{пор}), в среднем по пласту ВБ₁ содержание кварца составляет 42,7 % (увеличиваясь в коллекторах до



Рис. 3. Концептуальная обстановка формирования пласта ВВ₁
Fig. 3. Conceptual environment of ВВ₁ reservoir formation

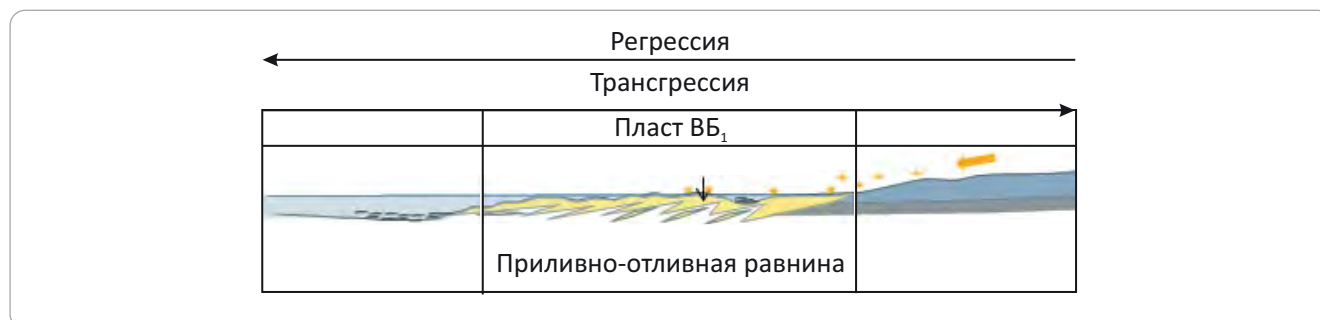


Табл. 1. Минеральный состав пород березовской свиты
Tab. 1. Mineral composition of the Berezovsky Formation rocks

Минералы	Пласт			
	ВВ ₀	ВВ ₁	ВВ ₂₋₃	НБ
	среднее значение	среднее значение	среднее значение	min – max (значение)
Кварц	26,5	42,7	35,3	16,2–40,5 (29,2)
ОКТ-фаза	10,2	0,3	15,8	13,9–56,5 (30,9)
Сумма минералов кремнезема	36,7	43	51,1	52–72,9 (60,1)
Каолинит	1,2	4,6	4,2	0,8–3,1 (1,7)
Хлорит	2,9	6,3	4,2	1–2,1 (1,3)
Гидрослюды	7,1	5,7	5,1	3,4–5,3 (4,4)
Смешанослойные	2,1	1,5	1,5	0,8–1,1 (1)
Монтмориллонит	26,4	16,2	17,9	9–17,4 (15,1)
Сумма глинистых минералов	39,6	34,4	32,8	19,1–25,7 (23,5)
Полевые шпаты	14,9	12	8,9	4,3–7,4 (5,5)
Пирит	2,9	3,2	3,4	3–3,5 (3,3)
Карбонаты	5,4	7,3	3,8	0,7–5,9 (3,7)

48–60,3 %), сумма глин — 34,4 % (уменьшаясь в коллекторах до 17,2–27,6 %), сумма полевых шпатов — 12 %. Опал-кристобалит-тридимитовая фаза кремнезема (ОКТ-фаза) встречается в основном только в подошве пласта и достигает 0,3 %. Пирит составляет до 3,2 %. Внутри пласта ВВ₁ отмечаются прослои карбонатных песчаников, образовавшихся, вероятно, в результате кратковременного проникновения речных вод и формирования геохимического барьера. Обычно примесь карбонатов достигает 7,3 %. Наблюдается увеличение содержания кварца и уменьшение доли глин относительно вмещающих пород (табл. 1).

По данным рентгеноструктурного анализа пелитовых фракций (РСА_{глин}), в составе глин пласта ВВ₁ преобладают набухающие компоненты (монтмориллонит и смешанослойные). Содержание каолинита в среднем достигает 4,6 %, хлорита — до 6,3 %, гидрослюды — до 5,7 %, сумма монтмориллонит + смешанослойные — до 17,7 %.

Вверх по разрезу сумма «терригенных» глин (каолинита и хлорита) уменьшается на фоне постепенного снижения темпов регрессии.

По сравнению с нижележащим горизонтом нижнеберезовской подсвиты пласты верхнеберезовской подсвиты отличаются пониженным содержанием ОКТ-фазы кремнезема и повышенным содержанием суммы глинистых минералов.

Рентгенофлуоресцентный анализ химического состава породы (РФА) (25 основных параметров, включая потери при прокаливании) служит для установления геохимической специализации толщ, а также для диагностики изменения условий седиментации (табл. 2). Результатом количественного метода РФА является значение концентрации компонента в образце в виде оксидов элементов. Расчет значений отношения элементов ведется по массовым содержаниям элементов в породе, пересчитанным из оксидов. Данными РФА охарактеризован химический состав пород березовской свиты.

Табл. 2. Средние значения результатов РФА по пластам березовской свиты

Tab. 2. Average values of X-ray fluorescence analysis results for the layers of the Berezovsky Formation

Пласт	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	Ba	V
ВБ ₀	65,4	0,711	13,1	6,8	0,101	0,67	1,997	1,363	1,967	0,071	0,146	0,033	0,019
ВБ₁	60,9	0,833	14,7	8,1	0,156	0,789	1,946	1,481	2,147	0,118	0,143	0,037	0,015
ВБ ₂₋₃	67	0,666	12,6	6,1	0,162	0,548	1,432	1,091	1,622	0,086	0,129	0,025	0,014
НБ (mean)	76,9	0,423	7,6	3,8	0,098	0,627	1,002	1,05	1,098	0,148	0,088	0,035	0,008

В течение осадконакопления березовской свиты относительные вариации условий, в том числе и геохимических, приводили к естественному подразделению на пласты (литостратоны), что хорошо заметно в результирующих таблицах данных РФА.

Отложения верхнеберезовской подсвиты резко отличаются от пластов нижнеберезовской подсвиты и характеризуются пониженным содержанием SiO₂ (61–67 против 72–85 %) и повышенным содержанием оксидов — TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, а также некоторых элементов-примесей за счет более глинистого состава (и пониженной доли аморфного кремнезема).

На изученном месторождении, по данным РФА, в пласте ВБ₁ доля SiO₂ относительно вмещающих пород минимальная, варьирует от 59,6 до 63,1 % (в среднем 60,8 %). Содержание Fe₂O₃ не превышает 8,1 %; Al₂O₃ — в среднем 14,7 %. В целом по разрезу элементы распределены равномерно. Отмечается небольшое увеличение содержания SiO₂ вверх по разрезу от 4 до 63 % и уменьшение Al₂O₃ и Fe₂O₃ за счет относительного усиления степени волновой переработки и вымывания глинистых минералов.

Отношение Fe/Mn является индикатором положения осадков на фациальном профиле бассейна. Значения отношения Fe/Mn в осадочных породах уменьшаются с увеличением глубины и с переходом от шельфовых фаций к пелагическим, что обусловлено поглощением осадочными образованиями Mn из морской воды, сильнее проявленным в глубоководных условиях, и выпадением основной массы Fe в прибрежно-морских обстановках. Таким образом, рост значения отношения Fe/Mn в каком-либо осадочном разрезе указывает на обмеление и опреснение бассейна. Отношения Fe/Mn более 80 в отложениях пласта ВБ₁ указывают на прибрежно-морские обстановки с доминированием терригенного материала.

Для уточнения структуры порового пространства выполнено комплексное **мультимасштабное исследование внутренней структуры** продуктивных газоносных отложений пласта ВБ₁ на мезо-, микро- и наномасштабах. Такой подход с последовательным переходом от масштабов полноразмерного ядра к наномикронным размерам позволяет визуализировать в микроплоскости реальную картину образца, на котором проводятся исследования,

получить качественную характеристику и количественную оценку распределения пор по размерам и связанности пор в исследуемом масштабе. Исследования выполнялись компанией ООО «Системы для микроскопии и анализа» (Москва, Сколково). Было исследовано пять образцов из пласта ВБ₁.

По данным съемки на рентгеновском микротомографе, в объеме березовской свиты образцы пласта ВБ₁ из продуктивной части характеризуются богатым поровым пространством, образующим связанную пористость (доля связанных пор более 70 %). На рис. 4 представлены образцы, имеющие разное пустотное пространство (поры на томографических сечениях характеризуются темной/черной окраской). В скв. 2 коллектор по ГИС не выделяется, образец скв. 3 более пористый (с повышенным содержанием K_p и высокой долей связанных пор для данного микроуровня) относительно плотных образцов из скважин 4 и 5.

На микромасштабе с применением растровой электронной микроскопии (сфокусированный ионный пучок; ФИП/РЭМ) образцы пласта ВБ₁ из продуктивной части характеризуются довольно крупным поровым пространством — до сотен микрометров. Содержат преимущественно каналотрещиноподобные поры, наличие которых обусловлено высокой долей глинистых минералов, и одиночные крупные поры, образованные между зернами обломочной составляющей (рис. 5).

Проведенные исследования совместно с ранее полученными региональными данными о строении объекта позволили построить его концептуальную модель.

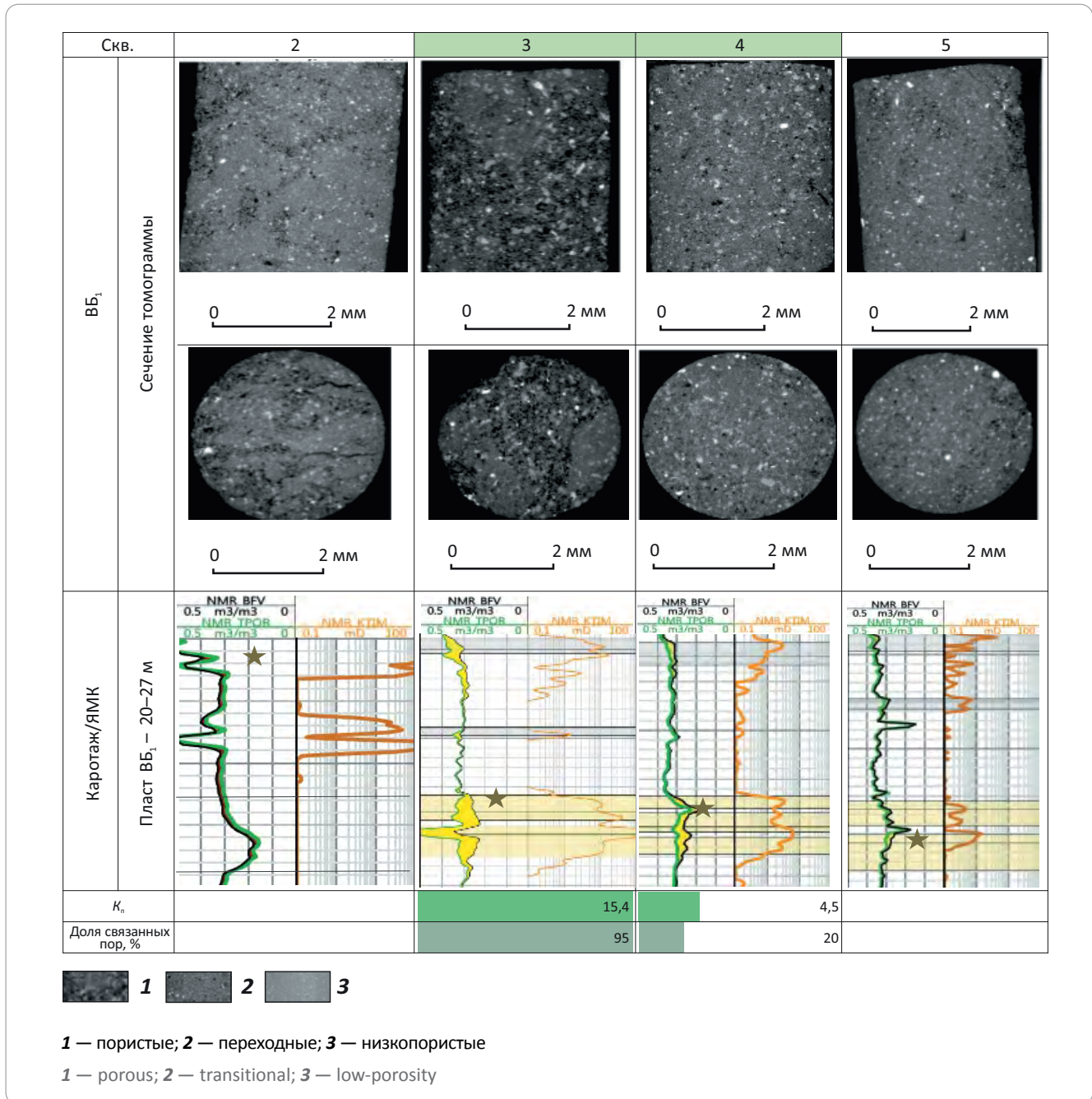
Концептуальная модель пласта ВБ₁

На изученном месторождении отложения пласта ВБ₁, сформировавшиеся в мелководно-морских условиях, представлены преимущественно алевритами мелко-крупнозернистыми и глинистыми алевритами. Удаленность от источника сноса предопределила тонкозернистый состав. Обшире толщины изменяются от 21 до 36 м.

Улучшенные коллекторы пласта относятся к центральной зоне участка и связаны с палеовыщелоченностями и выносом тонкого материала в погруженные части бассейна, что подтверждается также данными рентгеновской микротомографии



Рис. 4. Результаты исследования образцов методом рентгеновской микротомографии
Fig. 4. The results of sample studies using X-ray Microtomography



(см. рис. 4, 5). В восточном направлении происходит ухудшение коллекторских свойств за счет накопления пелитоморфных осадков в режиме низкой гидродинамики (в заливе/лагуны).

Вдольбереговые (островные) отложения — крупно-среднезернистые алевролиты — накапливались в более активных гидродинамических условиях, что отразилось на степени сортировки материала, содержании глинистой компоненты и следовательно, коллекторских свойствах.

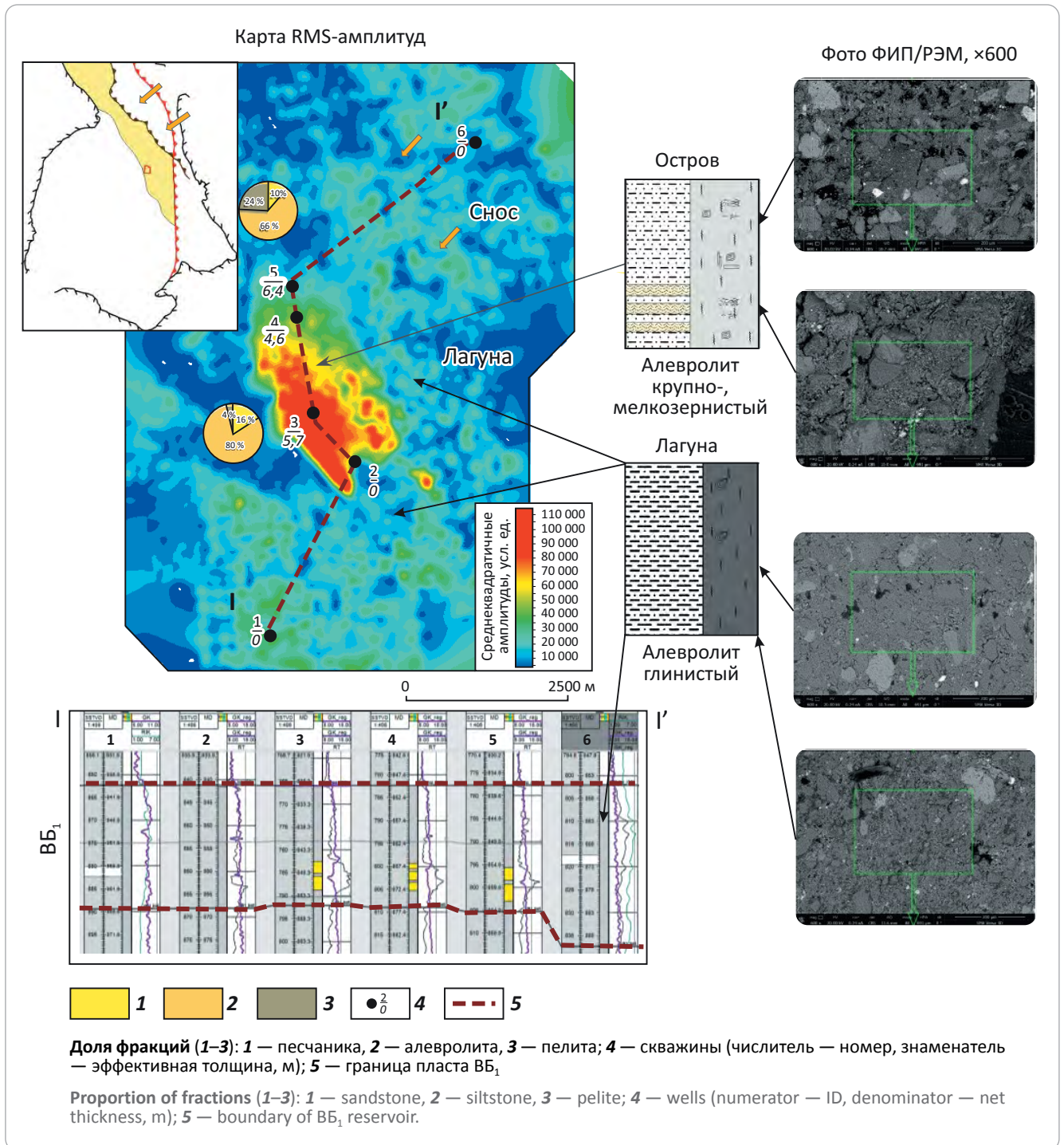
Риски пласта ВБ₁ на месторождении связаны с лагунными отложениями (глинистыми алевролитами), поскольку в его восточной части (в пределах лагуны) происходит постепенное уменьшение

размерности частиц, слагающих породы. Низкая динамика водной среды predetermined преимущественно пелитоморфный и глинистый состав осаждавшегося материала.

Использование сейсморазведки МОГТ для картирования газовых залежей в отложениях березовской свиты Западно-Сибирской плиты

Опыт изучения газоносности отложений березовской свиты сейсморазведкой МОГТ свидетельствует о приуроченности рассматриваемого интервала интенсивных динамических аномалий к газовым залежам (рис. 6). Такие аномалии в отложениях пласта ВБ₁ (средний кампан) установлены

Рис. 5. Концептуальная модель пласта ВВ₁
Fig. 5. Conceptual model of ВВ₁ reservoir



на трех лицензионных участках, как уже было сказано, с подтвержденной газоносностью на месторождении X.

Выделенный и прокоррелированный после сейсмогеологической привязки ОГ С₂ был соотнесен с кровлей пласта ВВ₁. На рис. 5 представлена динамическая аномалия в интервале отложений кампанского возраста. Из особенностей формирования динамических аномалий следует, что рассматриваемые аномалии обусловлены резким понижением акустических жесткостей пласта, вызванным его

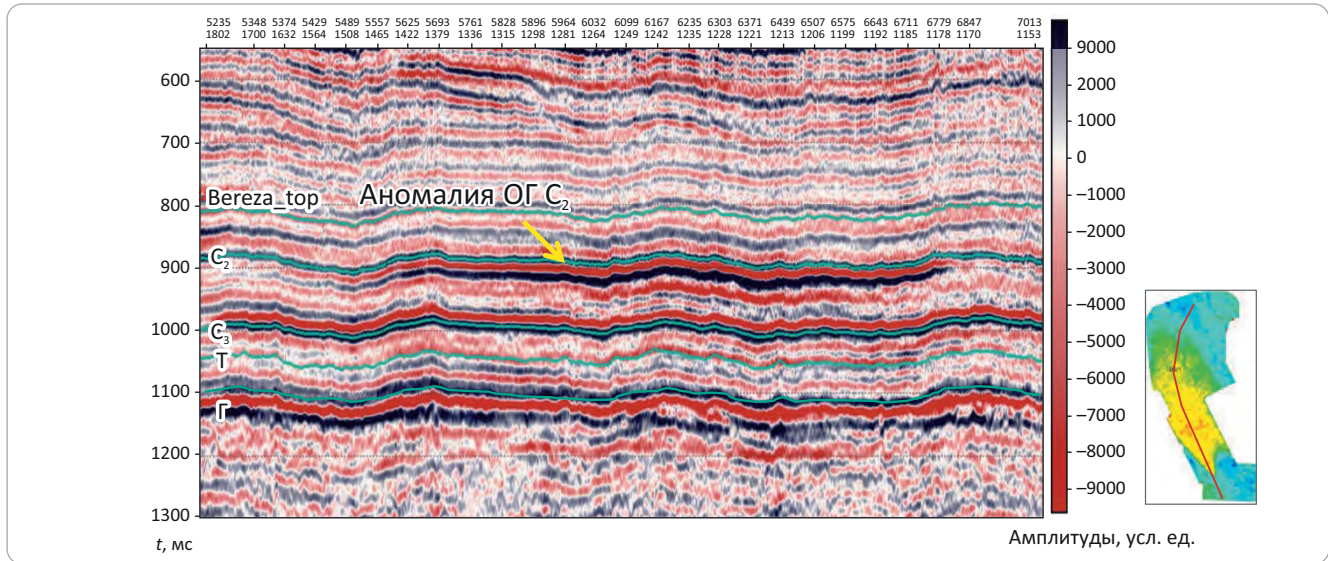
газонасыщенностью, относительно акустических жесткостей вмещающих пород. Таким образом, перспективы газоносности пласта ВВ₁ ограничены зоной аномалии сейсмической записи, что подтверждается результатами испытаний.

Данные залежи являются примером ловушек неантиклинального структурно-литологического типа.

На основании детальных геолого-геофизических исследований объектов выявлено, что успешность картирования ловушек и залежей в данных



Рис. 6. Сейсмический разрез через отложения березовской свиты
Fig. 6. Seismic section across the Berezovsky Formation deposits



отложениях будет определяться качеством сейсмических материалов МОГТ (кратность, высокие значения отношения сигнал/помеха). В последующих работах по изучению данных отложений следует также учитывать низкое разрешение съемок МОГТ прошлых лет, имеющих низкую кратность суммирования в исследуемом интервале, поскольку полная кратность обычно достигается только на временах более 2 с.

Установлено, что в верхнемеловых отложениях Западно-Сибирской плиты отсутствуют нефтегазоматеринские отложения для генерации УВ в значительных масштабах. Поэтому надсеноманский газ — это газ, поднявшийся по разломно-трещинным зонам выше отложений турона из сеноманских отложений. Об этом также свидетельствуют опубликованные геохимические индикаторы [12].

Атрибутный анализ сейсмических данных помог установить зоны разломов на юге структуры. Структурный план по кровле березовской свиты отличается довольно простым строением. В отложениях уверенно выделяется ряд амплитудных нарушений, с которыми также будут связаны зоны трещиноватости.

Таким образом, для формирования и сохранности скоплений газа в отложениях березовской свиты важным фактором является наличие молодых дизъюнктивных нарушений (с периодической активизацией в прошлом), зон дробления в шовных зонах, зон трещиноватости. Однако современные подвижки могут привести и к полному разрушению залежи. Газ может мигрировать в верхние интервалы разреза и рассеяться.

Выводы

Отложения верхнеберезовской подсвиты сформировались в условиях позднемеловой трансгрессии Западно-Сибирской плиты. Отложения по

характеру разреза и вещественному составу биогенно-хемогенного генезиса (преимущественно глинистого состава с примесью кремнистого материала), эпизодически терригенного типа седиментации (алевролиты — пласт ВВ₁). По сравнению с нижележащим горизонтом нижнеберезовской подсвиты, представленным автохтонными глинисто-кремнистыми отложениями, пласты верхнеберезовской подсвиты отличаются пониженным содержанием ОКТ-фазы кремнезема и повышенным содержанием суммы глинистых минералов.

Пласт ВВ₁ с присутствием коллекторов выделен только на северо-востоке Западно-Сибирской плиты и простирается узкой полосой с северо-запада на юго-восток. Распространение алевролитов на юго-запад контролируется, по всей видимости, зоной трансевразийского сдвига. К северо-востоку коллектор будет улучшаться, но есть вероятность исчезновения покрышки. Для пласта характерна преобладающая роль терригенного материала (аллохтонный тип осадконакопления), что можно объяснить относительно малоамплитудными вертикальными движениями дна бассейна, нестабильностью условий жизнедеятельности и усилением темпов седиментации на северо-востоке Западно-Сибирской плиты за счет терригенных источников.

Продуктивный пласт ВВ₁ на изученном месторождении сформировался в условиях развития глобальной надсеноманской трансгрессии и отражает локальный эпизод регрессии в среднем кампане. Отложения представлены алевролитами и глинистыми алевролитами и являются продуктами эрозии слабосцементированных осадков нижележащих отложений за счет выхода их на субаэральный уровень и дальних источников сноса.

В верхней части положительной структуры изученного месторождения пласт ВВ₁ характери-

зуются пониженной мощностью, но улучшенным качеством коллектора в результате повышенной степени волновой переработки — вымывания пелитоморфной составляющей. Рассмотренный участок характеризуется сочетанием благоприятных

литологических и тектонических условий: структура — коллектор — дизъюнктивные нарушения и повышенными рисками разрушения залежей в результате неотектонических движений блоков Западно-Сибирской плиты.

Литература

1. Агалаков С.Е., Кудаманов А.И., Лебедев М.В., Маринов В.А. Верхнемеловая кремнистая формация Западной Сибири // Современные проблемы седиментологии в нефтегазовом инжиниринге : труды III Всероссийского научно-практического седиментологического совещания, посвященного обобщению положительного опыта литологических и фашиально-циклических исследований в нефтегазовой литологии и геологическом моделировании терригенных и карбонатных природных резервуаров (Томск, 10–12 апреля 2017 г.). – Томск : Изд-во ЦППС НД, 2017. – С. 9–14.
2. Агалаков С.Е., Кудаманов А.И., Маринов В.А. Фашиальная модель верхнего мела Западной Сибири // Интерэкспо GEO-Сибирь. – 2017. – Т. 1. – № 1. – С. 101–105.
3. Агалаков С.Е., Кудаманов А.И., Маринов В.А. Макет региональных стратиграфических схем верхнего мела Западной Сибири нового поколения // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии мат-лы IX Всероссийского совещания (Белгород, 17–23 сентября 2018 г.). – Белгород : ПОЛИТЕРРА, 2018. – С. 21–24.
4. Глухов Т.В., Агалаков С.Е., Кудаманов А.И., Маринов В.А. Палеогеография Западной Сибири в дербышинское время (поздний мел) // Литология осадочных комплексов Евразии и шельфовых областей : мат-лы IX Всероссийского совещания (с международным участием) (Казань, 30 сентября – 3 октября 2019 г.). – Казань: Изд-во Казанского университета, 2019. – С. 100–101.
5. Кудаманов А.И., Агалаков С.Е. Цикличность осадкообразования отложений верхнего мела Западно-Сибирской плиты // Интерэкспо GEO-Сибирь. – 2018. – Т. 1. – С. 183–190. DOI: 10.18303/2618-981X-2018-1-183-190.
6. Кудаманов А.И., Агалаков С.Е., Маринов В.А. Трансгрессивно-регрессивный характер осадконакопления в коньяк-сантонских отложениях верхнего мела в Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 7. – С. 58–63. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-7-58-63.
7. Кудаманов А.И., Карих Т.М., Маринов В.А. Смена режима седиментации на рубеже сантона-кампана Западной Сибири // Экзо-лит–2020. Литологические школы России : сб. научных материалов, годичное собрание (научные чтения), посвященные 215-летию основания Московского общества испытателей природы (Москва, 25–26 мая 2020 г.). – М., 2020. – С. 141–143.
8. Кудаманов А.И., Агалаков С.Е., Новоселова М.Ю., Глухов Т.В., Карих Т.М. Влияние тектоники на процессы седиментации верхнего мела Западной Сибири // Материалы EAGE (Тюмень, Россия 22–26 марта 2021 г.). – 2021. – № 3. – С. 1–5. DOI: 10.3997/2214-4609.202150075.
9. Абрамов Т.А., Гордеев А.О., Лознюк О.А., Тюлькова А.И., Афонин Д.Г. Анализ результатов планирования и проведения ГДИ пластов березовской свиты // Нефтяная провинция. – 2019. – Т. 4. – № 20. – С. 234–247. DOI: 10.25689/NP.2019.4.234-247.
10. Ошняков И.О., Хабаров А.В., Митрофанов Д.А., Лознюк О.А. Изучение отложений березовской свиты по данным расширенного комплекса ГИС и керновых исследований на примере Харампурского месторождения // Каротажник. – 2019. – Т. 6. – № 300. – С. 103–117.
11. Гордеев А.О., Дорошенко А.А. Временные методические рекомендации по подсчету запасов свободного газа в залежах березовской свиты и ее аналогов в пределах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Геология и недропользование. – 2022. – № 6. – С. 122–133.
12. Рязанова Т.А., Павлуткин И.Г., Кудаманов А.И., Марков В.В. Морфологическое разнообразие планктона и битуминозного вещества в верхнемеловых породах березовской и ганькинской свит юга Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Нефтяная провинция. – 2020. – № 4. – С. 21–45. DOI: 10.25689/NP.2020.4.21-45.

References

1. Agalakov S.E., Kudamanov A.I., Lebedev M.V., Marinov V.A. Verkhnemelovaya kremnistaya formatsiya Zapadnoi Sibiri [Upper Cretaceous siliceous formation of Western Siberia]. In: Sovremennye problemy sedimentologii v neftegazovom inzhiniringe : trudy III Vserossiiskogo nauchno-prakticheskogo sedimentologicheskogo soveshchaniya posvyashchennogo obobshcheniyu polozhitel'nogo opyta litologicheskikh i fatsial'no-tsiklicheskh issledovaniy v neftegazovoi litologii i geologicheskoy modelirovaniy terrigennykh i karbonatnykh prirodnykh rezervuarov (Tomsk, 10–12, April, 2017). Tomsk: Izd-vo TsPPS ND; 2017. pp. 9–14. In Russ.
2. Agalakov S.E., Kudamanov A.I., Marinov V.A. Facies model of the Western Siberia Upper Cretaceous. *Interexpo GEO-Siberia*. 2017;1(1):101–105. In Russ.
3. Agalakov S.E., Kudamanov A.I., Marinov V.A. Maket regional'nykh stratigraficheskikh skhem verkhnego mela Zapadnoi Sibiri novogo pokoleniya [Model set of regional Upper Cretaceous stratigraphic schemes of new generation, Western Siberia]. In: Melovaya sistema rossii i blizhnego zarubezh'ya: problemy stratigrafii i paleogeografii: mat-ly IX Vserossiiskogo soveshchaniya (Belgorod, 17–23, September 2018). Belgorod: POLITERRA; 2018. pp. 21–24. In Russ.
4. Glukhov T.V., Agalakov S.E., Kudamanov A.I., Marinov V.A. Paleogeografiya Zapadnoi Sibiri v Derbyshinskoe vremya (pozdnii mel) [Paleogeography of Western Siberia in the Derbyshinsky time (Late Cretaceous)]. In: Litologiya osadochnykh kompleksov Evrazii i shel'fovyykh oblastei : mat-ly IX Vserossiiskogo soveshchaniya (s mezhdunarodnym uchastiem) (Kazan', 30, September – 3, October, 2019). Kazan': Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta; 2019. pp. 100–101. In Russ.
5. Kudamanov A.I., Agalakov S.E. Cyclicity of sedimentation of the Upper Cretaceous Deposits of the West Siberian plate. *Interexpo GEO-Siberia*. 2018;(1):183–190. DOI: 10.18303/2618-981X-2018-1-183-190. In Russ.
6. Kudamanov A.I., Agalakov S.E., Marinov V.A. Transgressive-regressive type of sedimentation in the Western Siberian Coniacian-Santonian (Upper Cretaceous). *Neftyanoe khozyaistvo*. 2018;(7):58–63. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-7-58-63. In Russ.

7. Kudamanov A.I., Karikh T.M., Marinov V.A. Smena rezhima sedimentatsii na rubezhe santona-kampana Zapadnoi Sibiri [Change of sedimentation pattern at the boundary of Santonian and Campanian, Western Siberia]. In: EhkzoliT–2020. Litologicheskie shkoly Rossii : sb. nauchnykh materialov, godichnoe sobranie (nauchnye chteniya), posvyashchennye 215-letiyu osnovaniya Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody (Moscow, 25–26, May, 2020). Moscow, 2020. pp. 141–143. In Russ.
8. Kudamanov A.I., Agalakov S.E., Novoselova M.Yu., Glukhov T.V., Karikh T.M. Vliyanie tektoniki na protsessy sedimentatsii verkhnego mela Zapadnoi Sibiri [Tectonics effect on sedimentation processes in Upper Cretaceous, Western Siberia]. In: Materialy EAGE (Tyumen', Rossiya, 22–26, March, 2021). 2021. № 3. pp. 1–5. DOI: 10.3997/2214-4609.202150075. In Russ.
9. Abramov T.A., Gordeev A.O., Loznyuk O.A., Tyul'kova A.I., Afonin D.G. Analysis of pressure transient test results for Beryozovskaya suite. *Neftyanaya provintsiya*. 2019;20(4):234–247. DOI: 10.25689/NP.2019.4.234-247. In Russ.
10. Oshnyakov I.O., Khabarov A.V., Mitrofanov D.A., Loznyuk O.A. Studying Berezovskaya Suite sediments from the data of an augmented logs set and a core analysis on the example of Kharampurskoe field. *Karotazhnik*. 2019;6(300):103–117. In Russ.
11. Gordeev A.O., Doroshenko A.A. Temporary Guidelines for the Calculation of Free Gas Reserves in the Deposits of the Berezovskaya Suite and Its Analogues within the West Siberian Oil and Gas Province. *Geologiya i nedropol'zovanie*. 2022;(6)122–133. In Russ.
12. Ryazanova T.A., Pavlutkin I.G., Kudamanov A.I., Markov V.V. Morphological diversity of plankton and bituminous matter in the Upper Cretaceous Berezovian and Gankinskian formations in the South of West-Siberian basin. *Neftyanaya provintsiya*. 2020;(4)21–45. DOI: 10.25689/NP.2020.4.21-45. In Russ.

Информация об авторах

Дистанова Лилия Робертовна

Кандидат геолого-минералогических наук,
главный специалист

ООО «Тюменский нефтяной научный центр»,
625000 Тюмень, ул. Осипенко, д. 79/1
e-mail: irdistanova@tnnc.rosneft.ru

Кудаманов Александр Иванович

Кандидат геолого-минералогических наук,
эксперт

ООО «Тюменский нефтяной научный центр»,
625000 Тюмень, ул. Осипенко, д. 79/1
e-mail: aikudamanov@rosneft.ru
ORCID ID: 0000-0002-1278-5103

Нассонова Наталья Валентиновна

Кандидат геолого-минералогических наук,
старший эксперт

ООО «Тюменский нефтяной научный центр»,
625000 Тюмень, ул. Осипенко, д. 79/1
e-mail: nvnassonova@tnnc.rosneft.ru

Information about authors

Liliya R. Distanova

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Chief Specialist

Tyumen Petroleum Research Center,
79/1 ul. Osipenko, Tyumen, 625000, Russia
e-mail: irdistanova@tnnc.rosneft.ru

Alexander I. Kudamanov

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Expert

Tyumen Petroleum Research Center,
79/1 ul. Osipenko, Tyumen, 625000, Russia
e-mail: aikudamanov@rosneft.ru
ORCID ID: 0000-0002-1278-5103

Natalia V. Nassonova

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Senior Expert

Tyumen Petroleum Research Center,
79/1 ul. Osipenko, Tyumen, 625000, Russia
e-mail: nvnassonova@tnnc.rosneft.ru