

УДК 553.9:549.02

## ЛИТОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРАТИФИКАЦИИ НИЖНЕБЕРЁЗОВСКОЙ ПОДСВИТЫ МЕДВЕЖЬЕГО И ВЫНГАПУРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ананьева Людмила Геннадьевна<sup>1</sup>,  
lga@tpu.ru

Качинскас Игорь Викторович<sup>2</sup>,  
i.kachinskas@nedra.gazprom.ru

Дорошенко Александр Александрович<sup>2</sup>,  
ssdoro.47@mail.ru, a.doroshenko@nedra.gazprom.ru

Коровкин Михаил Владимирович<sup>1,4</sup>,  
mvk@tpu.ru

Дорошенко Алексей Александрович<sup>2</sup>,  
alexey.doroshenko@nedra.gazprom.ru

Нерсесов Сергей Владимирович<sup>5</sup>,  
nersesov@nadym-dobycha.gazprom.ru

Изосимов Дмитрий Игоревич<sup>3</sup>,  
info@noyabrck-dobycha.gazprom.ru

Постникова Ольга Васильевна<sup>6</sup>,  
olgapostnikova@yandex.ru

Карымова Яна Олеговна<sup>2</sup>,  
ya.karymova@nedra.gazprom.ru

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

<sup>2</sup> ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,  
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Герцена, 70.

<sup>3</sup> ООО «Газпром добыча Ноябрьск»,  
Россия, 629806, г. Ноябрьск, ул. 40 лет Победы, 2.

<sup>4</sup> Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

<sup>5</sup> ООО «Газпром добыча Надым»,  
Россия, 629736, г. Надым, ул. Зверева, 1.

<sup>6</sup> Российский университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина,  
Россия, 119991, г. Москва, Ленинский пр., 65.

**Актуальность.** В настоящее время изучение надсеноманских отложений, в том числе и сложенных кремнистыми породами отложений нижнеберёзовской подсвиты коньяк-сантонского возраста, из разряда теоретического интереса перешло в разряд практически важных исследований. Это связано с тем, что промышленная газоносность подтверждена на шести участках (Ван-Еганский – пласт НБ<sub>1</sub>, Вынгапуровский – НБ<sub>4</sub>, Медвежий НБ<sub>3</sub>–НБ<sub>4</sub>, Ново-Часельский – НБ<sub>3</sub>, Комсомольский НБ<sub>1</sub>, Харампурский НБ<sub>1</sub>). Выделяется четыре пласта нижнеберёзовской подсвиты (горизонт НБ), однако критериев определения границ этих пластов пока не выявлено. В настоящей работе дано обоснование литолого-минералогических и промыслово-геофизических критериев стратиграфического расчленения разреза нижнеберёзовской подсвиты.

**Объектом** исследования является берёзовская свита, отложения которой на севере Западной Сибири содержат значительные ресурсы газа, рассматриваемые как резерв «продления жизни» месторождений при выработке высокопродуктивных отложений сеномана.

**Цель:** повышение эффективности геологоразведочных работ по выявлению залежей газа в кремнистых породах сенона за счёт уточнения стратиграфического строения пород берёзовской свиты.

**Методы.** Расчленение разрезов проводилось по скважинам, пробуренным в последние годы, со сплошным отбором керна и с расширенным комплексом геофизических исследований скважин (ГИС), включающим электрические, радиоактивные, акустические, ядерно-магнитные методы. Минеральный состав определялся путём изучения керна методами рентгеноструктурного анализа (более 300 образцов), инфракрасной спектроскопии (220 образцов). Состав химических элементов в породах устанавливался методами рентгенофлуоресцентного анализа (более 300 образцов) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (70 образцов).

**Результаты.** Показано, что граница между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> не имеет однозначных критериев по ГИС. На Медвежьем месторождении эта граница определяется по скачкообразному изменению показаний ядерно-магнитного и акустического каротажей, на Вынгапуровском же месторождении таких скачкообразных изменений на кривых этих методов не отмечается. Показано, что граница между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> имеет чёткую характеристику по минеральному составу пород и определяется резким снижением доли цеолитов (клиноптилолита) при переходе от НБ<sub>2</sub> к НБ<sub>3</sub>. Вместе со снижением содержания клиноптилолита на границе между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> происходит и резкое изменение в химическом составе пород, в частности, отмечается резкое снижение доли стронция. Такая тенденция к снижению доли клиноптилолита и стронция в породах может быть объяснена затуханием вулканической деятельности на юго-востоке Западной Сибири.

### Ключевые слова:

Берёзовская свита, стратотип, пласт, силициты, кремнезем, опал, кварц, цеолит, клиноптилолит, стронций, рентгеноструктурный анализ, инфракрасная спектроскопия.

## Введение

В настоящее время изучение надсеноманских отложений, в том числе и сложенных кремнистыми породами отложений нижнеберёзовской подсвиты коньяк-сантонского возраста, из разряда теоретического интереса перешло в разряд практически важных исследований. Это связано с тем, что промышленная газоносность, по данным работ [1, 2], «...подтверждена на шести участках (Ван-Еганский – пласт НБ<sub>1</sub>, Вынгапуровский – НБ<sub>4</sub>, Медвежий НБ<sub>3</sub>–НБ<sub>4</sub>, Ново-Часельский – НБ<sub>3</sub>, Комсомольский НБ<sub>1</sub>, Харампурский НБ<sub>1</sub>)».

В стратиграфических решениях по верхнемеловым отложениям Западной Сибири и в опубликованных работах, посвящённых изучению отложений нижнеберёзовской подсвиты, констатируется наличие четырёх пластов в ней. Однако чёткие критерии выделения границ пластов по данным ГИС приводятся только для двух пластов: НБ<sub>1</sub> и НБ<sub>4</sub>. Индексы же НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> оставлены как резервные для использования их в случае обнаружения газовых залежей в толще (около 40 м), расположенной между пластами НБ<sub>1</sub> и НБ<sub>4</sub>. Отсутствие стратотипа для выделения пластов НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub>, возможно, связано ещё с тем обстоятельством, что для ряда месторождений граница между этими пластами на каротажных кривых практически не проявляется. В настоящее время промышленная газоносность уже подтверждена для всех четырёх пластов, поэтому возникла настоятельная необходимость выявления критериев выделения пластов НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub>, а не только НБ<sub>1</sub> и НБ<sub>4</sub>.

В работе [3] приведены схемы корреляции горизонта НБ по данным ГИС с выделением только двух пластов НБ<sub>1</sub> (в кровельной части подсвиты) и НБ<sub>4</sub> (в подошвенной части подсвиты). В качестве критериев выделения этих двух пластов используются отрицательные аномалии на каротажных кривых метода собственных потенциалов (ПС) и повышенные значения, полученные электрическими методами (методом высокочастотного индукционного каротажного изопараметрического зондирования (ВИКИЗ) или методом индукционного каротажного зондирования (ИКЗ)). Индексы НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> оставлены в резерве «...для возможных залежей УВ сырья в средней части подсвиты...» [3]. Пласт НБ<sub>1</sub> является реперным для всей территории Западной Сибири и носит название пласт «кремнистых аргиллитов».

В работе [4] горизонт НБ также подразделяется на четыре пласта. При этом отмечается, что на северо-востоке Западно-Сибирской плиты (в районе нижнего течения р. Енисей) отложения коньяк-сантонского возраста сложены мелкозернистыми и крупно-мелкозернистыми алеволитами (пачка НБ<sub>3</sub>) русско-реченской толщи, которая выклинивается в направлении с востока на запад. Именно вблизи западной границы глинизации этой толщи по данным ГИС чётко выделяются все четыре пачки (НБ<sub>1</sub>, НБ<sub>2</sub>, НБ<sub>3</sub>, НБ<sub>4</sub>), а «...на большей части Западной Сибири опоковидные глины пачки НБ<sub>2</sub> сливаются с кремнисто-глинистыми

отложениями пачки НБ<sub>4</sub> и на *диаграммах ГИС не выделяются* (курсив наш)» [4]. Таким образом, на большей части Западной Сибири по данным ГИС выделяется два пласта НБ<sub>1</sub> и НБ<sub>2</sub>+НБ<sub>4</sub>. С проявлением продуктивности в пласте НБ<sub>3</sub> на Ново-Часельском участке и на Медвежьем месторождении авторы цитируемой выше работы привели новые схемы корреляции, на которых пласты НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>4</sub> уже не сливаются, а разделены пластом НБ<sub>3</sub>, не только на востоке Западной Сибири, но и в центральной её части [5]. Во главу угла в этих корреляциях ставятся радиоактивные методы каротажа (ГК, ГГКП) и методы удельного сопотвращения пласта (ГЗ<sub>3</sub>, ВИКИЗ). Границы пластов НБ<sub>1</sub> и НБ<sub>4</sub> у них однозначно определяются пониженными значениями ГК и ГГКП, а также повышенными значениями ГЗ<sub>3</sub> и не вызывают вопросов. Отметим, что пачка пород, соответствующая пласту НБ<sub>1</sub>, в работах [4, 5] именуется как «хеяхинская пачка», которая соответствует пласту «кремнистых аргиллитов» из работы [3], и однозначно понимается на всех корреляциях из [3–5] по самым высоким значениям УЭС и самым низким значениям ГК и/или ПС. А вот для границы между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> таких чётких критериев в [5] не приводится. Вследствие этого положение этой границы в разрезе нижнеберёзовской подсвиты отдельно обсуждается в настоящей работе.

## Методы исследования

В работе исследовались скважины, пробуренные в последние годы, со сплошным отбором керна, имеющие данные расширенного комплекса геофизических исследований скважин (ГИС), включающего электрические, радиоактивные, акустические, ядерно-магнитные методы.

Минеральный состав определялся путём изучения керна методами рентгеноструктурного анализа [6–11] (более 300 образцов), инфракрасной спектроскопии [12–15] (220 образцов). Состав химических элементов в породах определялся методами рентгенофлуоресцентного анализа [16] (более 300 образцов) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой [17] (70 образцов).

Для расчленения разрезов скважин газоносных отложений нижнеберёзовской подсвиты Медвежьего и Вынгапуровского месторождений использовали комплексный анализ литолого-минералогических исследований.

## Экспериментальные результаты и обсуждение

*Обоснование границы между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub>.* Трудности определения этой границы рассмотрим на примере корреляции разрезов скважин Медвежьего и Вынгапуровского месторождений (рис. 1), расположенных на расстоянии свыше 600 км друг от друга в направлении с юго-востока на северо-запад.

### Медвежье месторождение

Отметим, что в работах [18, 19] горизонт НБ Медвежьего месторождения делится не на четыре, а на три пласта – НБ<sub>0</sub>, НБ<sub>1</sub>, НБ<sub>2</sub>. Критериями для опреде-

ления границ этих пластов послужили данные о минеральном составе пород и данные ядерно-магнитного и акустического каротажей (Кпо\_ЯМК – общая пористость по ЯМК и DT – время пробега продольной волны) [19]. Пласт НБ<sub>0</sub> выделялся как первый продуктивный пласт над региональным репером НБ<sub>1</sub>. В стратификации берёзовской свиты, предложенной в работе [5], пласт НБ<sub>0</sub> отнесён к верхнеберёзовской подсвите и индексируется как ВБ<sub>3</sub>. И это правильно, поскольку кровля нижнеберёзовской подсвиты по определению совпадает с кровлей регионального репера, которым является пласт НБ<sub>1</sub>. Следовательно, из рассматриваемых в работах [18, 19] трёх пластов к нижнеберёзовской подсвите Медвежьего месторождения относится только два – НБ<sub>1</sub> и НБ<sub>2</sub>. При этом по описаниям из работы [19] интервал пласта НБ<sub>1</sub> характеризуется повышенными значениями пористости по ЯМК и пониженными значениями DT. По стратификации, предложенной в [17], этот интервал охватывает два пласта – НБ<sub>1</sub> и НБ<sub>2</sub> (рис. 1, скважины №№ 3С, 5С). Интервал же пласта НБ<sub>2</sub> из работы [19] характеризуется пониженными значениями пористости по ЯМК и повышенными DT. Он охватывает два пласта из стратификации [4] – НБ<sub>3</sub> и НБ<sub>4</sub> (рис. 1, скважины №№ 3С, 5С). Таким образом, предложенная в [5] стратификация горизонта НБ детализирует стратификацию, использованную в [18, 19].

Подчеркнём, что на Медвежьем месторождении все пласты этой детализированной стратификации имеют чётко определённые границы. Так, границы пластов НБ<sub>1</sub> и НБ<sub>4</sub> однозначно определяются по локальным отрицательным аномалиям методов ГК и ГГКП, а для НБ<sub>1</sub> ещё характерны и повышенные значения удельного электрического сопротивления (УЭС) (рис. 1, скважина №№ 3С, 5С). Граница между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> определяется по значениям DT и Кпо\_ЯМК, а именно, при переходе от НБ<sub>2</sub> к НБ<sub>3</sub> значения DT ступенчато повышаются, ЯМК – ступенчато снижаются (рис. 1).

Отметим, что эта граница имеет чёткую характеристику и по данным рентгеноструктурного анализа (РСА) керна. Проиллюстрируем это на примере скважины № 5С. Здесь на глубине 1004 м происходит резкое изменение в минеральном составе пород – снижение доли опал+кристаллит+тридимит фазы кремнезёма (ОКТ-фазы) (рис. 2, а) и скачкообразное увеличение доли кварца (рис. 2, в).

С точки зрения пористости, проницаемости, плотности и других свойств горных пород зона перехода от oral-A к oral-CT (ОКТ фазы), вероятно, является наиболее стратиграфически неоднородным интервалом [20, 21]. Литологически сложно-построенные, неоднородные разрезы, включающие в себя и переходные зоны, характеризуются переменными интервалами уплотнения и пустотного пространства [18, 22].

Казалось бы, найдено решение задачи определения границы между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub>. Однако критерии, работающие на Медвежьем месторождении, совсем не срабатывают на Вынгапуровском месторождении.

#### Вынгапуровское месторождение

Здесь границы пластов НБ<sub>1</sub> и НБ<sub>4</sub> также однозначно определяются по локальным отрицательным аномалиям методов ГК и ГГКП и положительной аномалией УЭС (рис. 1). Кроме того, пласт НБ<sub>1</sub> здесь характеризуется ярко выраженными аномалиями на кривых акустического (DT) и ядерно-магнитного (Кпо\_ЯМК) каротажей (рис. 1). Для границы же между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> таких чётких критериев не устанавливается. Из рис. 1 видно, что для скважин № 700 и 701 при переходе от пласта НБ<sub>2</sub> к НБ<sub>3</sub> не отмечается какого-либо ступенчатого изменения ни для стандартных методов каротажа (ГК, ГГКП, УЭС), ни на кривых из расширенного комплекса ГИС (ЯМК, DT). Фиксируется лишь некоторая тенденция увеличения значений на кривых ГК и Кпо\_ЯМК, но она не носит ступенчатого характера, что могло бы послужить основанием для проведения здесь границы.

Невозможно здесь определить эту границу и по особенностям изменения по разрезу состава минералов кремнезёма (рис. 2, б, г). Так, доля ОКТ-фазы кремнезёма плавно убывает от 72 % в пласте НБ<sub>1</sub> до нуля в нижней части пласта НБ<sub>4</sub> (рис. 2, б), а доля кварца также монотонно возрастает от 8 до 60 % (рис. 2, г) и до 70 % в скважине № 700. По скважине № 5С Медвежьего месторождения использовано гораздо больше данных по минералам кремнезёма (рис. 2, а, в), чем по скважинам Вынгапуровского месторождения (рис. 2, б, г), и может возникнуть мысль о том, что границу между НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> на Вынгапуровском месторождении мы не видим из-за малой представительности данных.

Однако правильность вывода об отсутствии резких изменений содержания минералов кремнезёма на Вынгапуровском месторождении можно подтвердить имеющимися представительными данными по индексу кристалличности кремнистой составляющей изучаемых пород.

Низкотемпературная кристаллическая фаза α-кварца может быть определена методом инфракрасной спектроскопии. Для неё характерно наличие двойного пика инфракрасного поглощения в диапазоне 800...778 см<sup>-1</sup> [11]. Изменение отношения величины пиков инфракрасного поглощения при 778 и 796 см<sup>-1</sup> использовалось нами для оценки степени кристалличности кремнезёма [23].

Определённые по вышеописанному правилу значения индекса кристалличности представлены на рис. 3. Видно, что для скважин № 5С и 6С Медвежьего месторождения индекс кристалличности равен нулю для пласта НБ<sub>1</sub>, в котором кремнезём представлен кварцем не более чем на 30 % (рис. 2, в), а преобладающей является ОКТ-фаза (рис. 2, а). По мере увеличения доли кварца в пласте НБ<sub>2</sub> начинает расти и индекс кристалличности, достигая своих максимальных значений уже в кровле пласта НБ<sub>3</sub> (рис. 3, а, в). Таким образом, в этих скважинах граница между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> чётко отбивается и по значениям данных инфракрасной спектроскопии, чего не скажешь о скважинах Вынгапуровского месторождения (рис. 3, б, г).

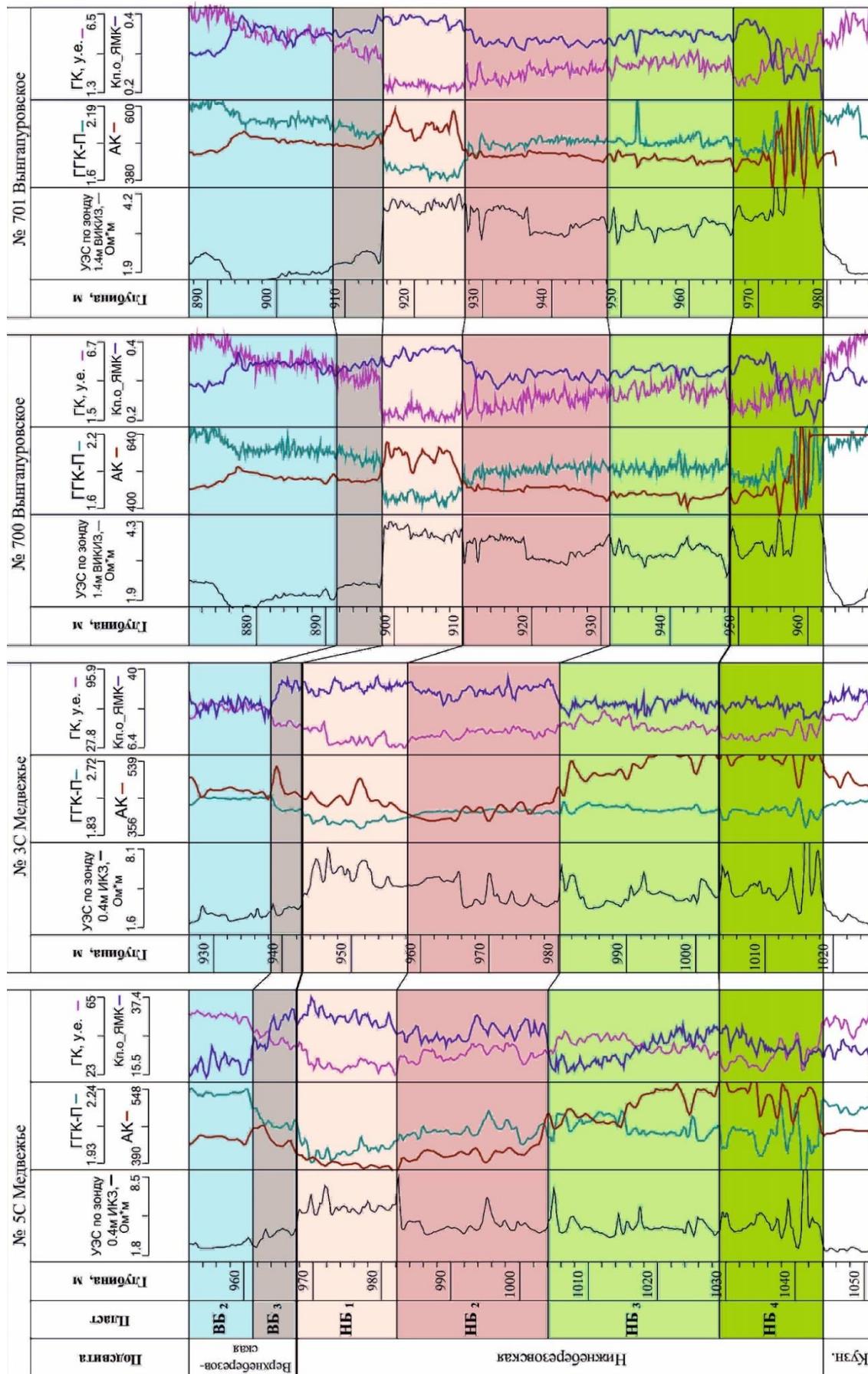
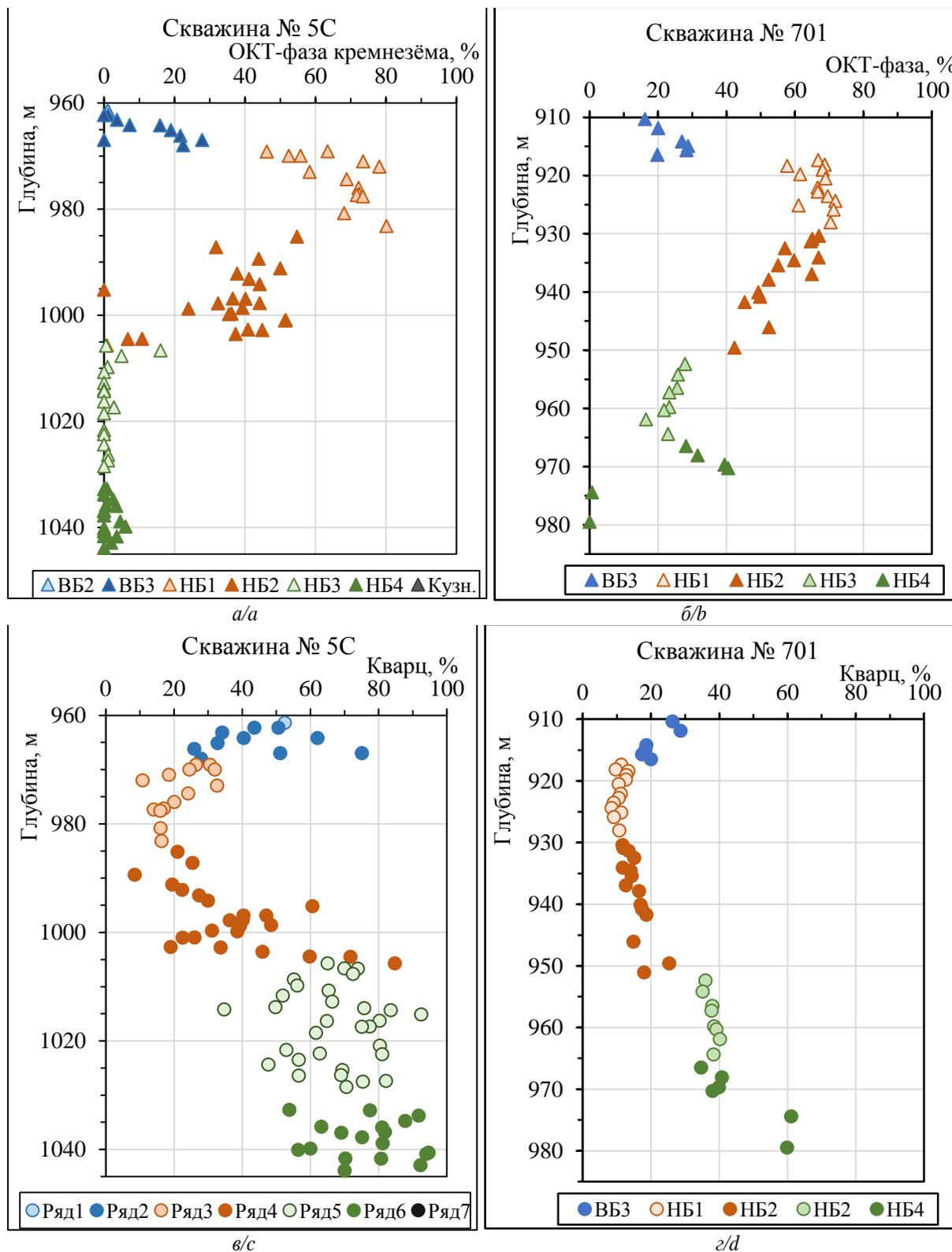


Рис. 1. Корреляция разрезов скважин Вынгагуровского и Медвежьего месторождений  
 Fig. 1. Correlation of sections of wells of the Vynagurovskoe and Medvezh'ye fields

Так, в скважине № 700 индекс кристалличности получает ненулевые значения только в кровле пласта НБ<sub>4</sub>, а в скважине № 701 его значения начинают расти в нижней половине пласта НБ<sub>4</sub>. Эти представительные данные по индексу кристалличности полностью подтверждают выводы, сделанные по данным РСА, о том,

что граница между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> на Вынгапуровском месторождении не может быть обоснована путём анализа изменчивости по разрезу кремнистой составляющей изучаемых пород. Отметим, что эта граница не может быть обоснована и по особенностям распределения по разрезу глинистой составляющей пород.



**Рис. 2.** Изменение содержания минералов кремнезёма по разрезам скважин № 5С и 701  
**Fig. 2.** Changes in the content of silica minerals by well sections no. 5C and 701

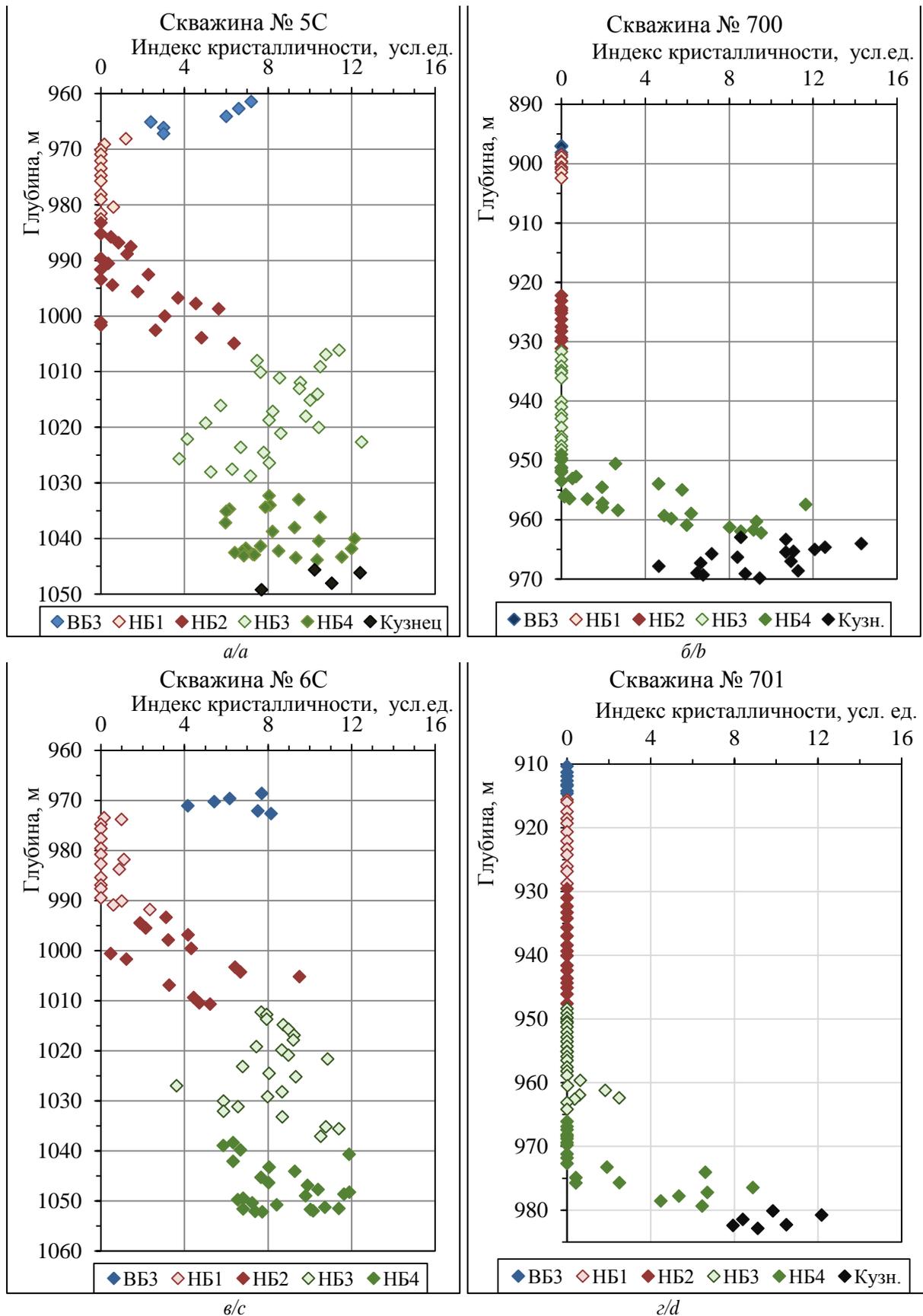


Рис. 3. Изменение индекса кристалличности по разрезам скважин Медвежьего (а, в) и Вынгапуровского (б, г) месторождений

Fig. 3. Changes of the crystallinity index along the sections of the wells of the Medvezhye (a, c) and Vyngapurovskoe (b, d) fields

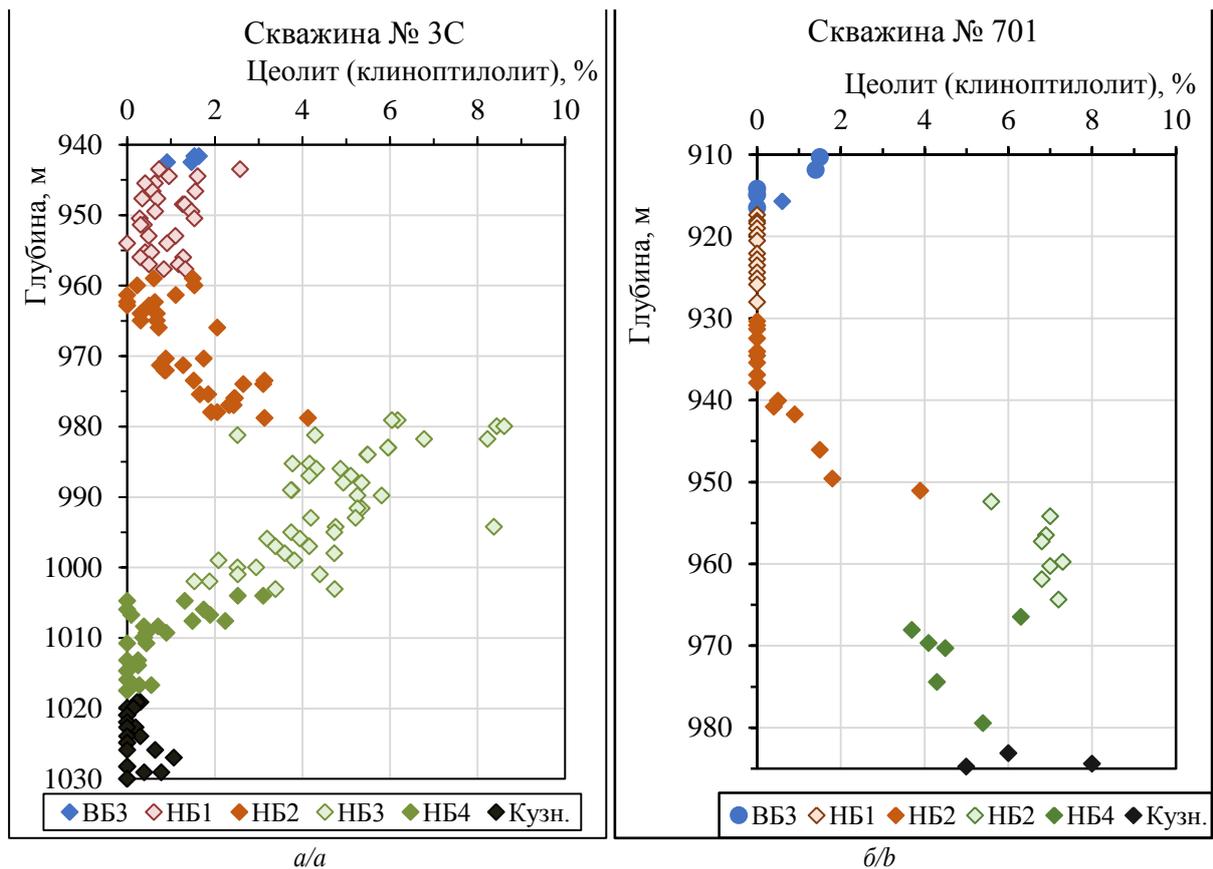


Рис. 4. Изменение содержания цеолитов по разрезам скважин № 3С и 701  
 Fig. 4. Changes of the content of zeolites along the sections of wells no. 3C and 701

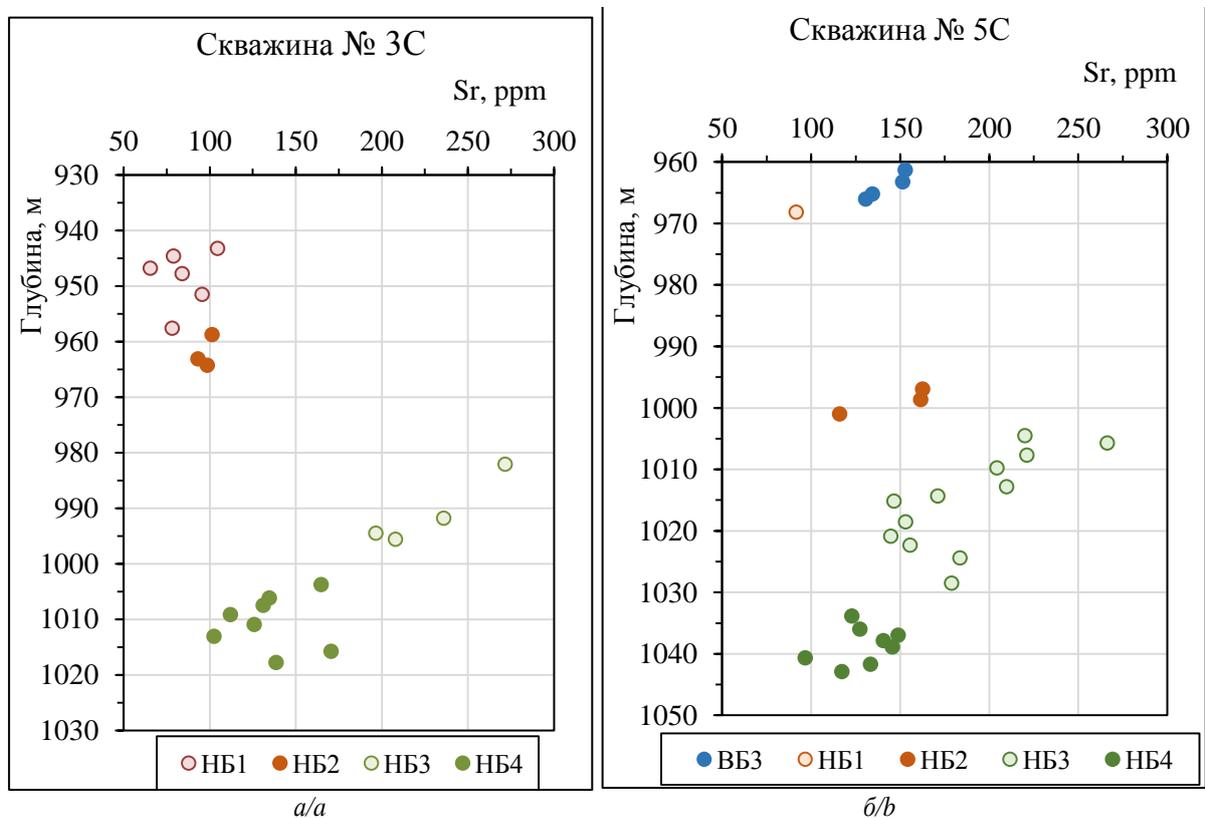


Рис. 5. Изменение содержания стронция в образцах керна скважин № 3С и 5С  
 Fig. 5. Changes of strontium content in core samples from wells no. 3C and 5C

Дальнейший анализ минерального состава пород горизонта НБ показал, что пласты НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> существенно различаются по содержанию цеолитов и на Медвежьем (рис. 4, а), и, в ещё большей степени, на Вынгапуровском месторождении (рис. 4, б).

Представленные на этом рисунке данные получены в разных лабораториях и по их заключениям цеолиты на обоих месторождениях представлены клиноптилолитом – минералом вулканогенного происхождения. В скважине № 701 содержание клиноптилолита характеризуется повышенными значениями в кузнецовской свите, в пласте НБ<sub>4</sub> и особенно в пласте НБ<sub>3</sub>. На границе же пластов НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> происходит резкое уменьшение этого показателя, вплоть до нуля (рис. 4, б). В скважине № 3С Медвежьего месторождения увеличение доли этого минерала обнаружено несколько выше (в верхней части пласта НБ<sub>4</sub>), но резкое уменьшение его доли происходит также на границе пластов НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> (рис. 4, а). Таким образом, видно, что в скважине № 701 клиноптилолит появляется исторически раньше, чем в скважине № 3С. Это говорит о том, что в кузнецовское время источник вулканогенного материала был намного ближе к Вынгапуровскому месторождению, чем к Медвежьему. Поступление вулканогенного материала на Вынгапуровском месторождении прекратилось практически мгновенно по геологическим масштабам, на границе между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub>. На Медвежьем месторождении это событие произошло также резко, но с меньшей амплитудой перепада доли цеолитов при переходе от НБ<sub>2</sub> к НБ<sub>3</sub>. В последнем содержание клиноптилолита стало уменьшаться снизу вверх, но не достигло нулевых значений, как на Вынгапуровском месторождении. Такой характер изменения доли вулканогенного материала в разрезах, возможно, связан с тем, в этот период произошло затухание вулканизма со смещением зоны наиболее активных вулканов к северным широтам Западной Сибири.

В работе [24] отмечается, что цеолиты вулканического происхождения являются накопителями стронция и, следовательно, с увеличением интенсивности подводного вулканизма в осадках будет происходить увеличение доли стронция. Из рис. 5 видно, что в период формирования пластов НБ<sub>3</sub> и НБ<sub>4</sub> содержание стронция в образцах керна монотонно возрастает от 100 ppm в подошве пласта НБ<sub>4</sub> до 260 ppm к кровле пласта НБ<sub>3</sub> и при переходе к пласту НБ<sub>2</sub> его содержание резко падает. Отметим, что скважины № 3С и 5С отстоят друг от друга на расстоянии около 10 км, т. е. практически рядом по отношению к расстоянию до зоны вулканизма, которая находилась ближе к Вынгапуровскому месторождению, расстояние до которого (как отмечалось выше) превышает 600 км. В связи с этим характер изменчивости содержания химических элементов, связанных с деятельностью вулканов, в том числе и стронция, в этих скважинах схож между собой, что подтверждается данными по пластам НБ<sub>3</sub> и НБ<sub>4</sub>. Исходя из этого можно объединить мало представительные данные по пластам НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>1</sub> и за-

ключить, что содержание стронция в пластах НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>1</sub> уменьшается от 160 ppm в подошве пласта НБ<sub>2</sub> (данные по скважине № 5С (рис. 5, б)) до 50 ppm к кровле пласта НБ<sub>1</sub> (данные по скважине № 3С (рис. 5, а)).

И граница между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> соответствует переломному моменту от возрастания содержания стронция в породах к его убыванию. По скважинам Вынгапуровского месторождения данных по содержанию стронция в породах пока не имеется, но можно ожидать, что закономерность, прослеженная по скважинам Медвежьего месторождения, будет ещё более ярко проявляться и на Вынгапуровском месторождении, как это происходит с содержанием цеолитов (рис. 4, б).

О вулканогенной природе кремнистых пород Западной Сибири коньяк-сантонского времени говорят и другие исследователи [25].

### Выводы

Приведённые в статье данные и опубликованные другими исследователями материалы показывают, что пласты НБ<sub>1</sub> и НБ<sub>4</sub> нижеберёзовской свиты по всей Западной Сибири имеют чёткие границы по ГИС, определяемые отрицательными аномалиями результатов радиоактивных методов каротажа.

Они также различаются по минеральному составу: НБ<sub>1</sub> содержит до 80 % ОКТ-фазы (опал+кристобалит+тридимит фазы) кремнезёма, в пласте же НБ<sub>4</sub> эта форма кремнезёма совершенно отсутствует, а преобладающим минералом кремнезёма (80 % и более) является кварц.

Граница между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> не имеет однозначных критериев по данным ГИС. На Медвежьем месторождении эта граница определяется по скачкообразному изменению значений Кпо по данным ядерно-магнитного каротажа. На Вынгапуровском же месторождении таких скачкообразных изменений на кривых этих методов не отмечается.

По минеральному составу граница между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> определяется по резкому снижению содержания клиноптилолита, имеющего вулканогенное происхождение. Такое резкое снижение доли клиноптилолита в породах, видимо, знаменует происходящее в это время резкое затухание вулканической деятельности на юго-востоке Западной Сибири. Для краткости границу между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> можно характеризовать как цеолитовую.

По составу химических элементов в породах граница между пластами НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub> определяется по переходу от роста содержания стронция к его снижению. Такая тенденция к снижению доли стронция в породах также может быть объяснена затуханием вулканической деятельности на юго-востоке Западной Сибири.

На основании литолого-минералогических исследований для газоносных отложений нижеберёзовской подсвиты Медвежьего и Вынгапуровского месторождений по комплексу признаков обосновано выделение пластов НБ<sub>2</sub> и НБ<sub>3</sub>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нежданов А.А., Огигбинен В.В., Скрылев С.А. Строение и перспективны газоносности сенонских отложений севера Западной Сибири // Газовая промышленность. – 2012. – № 676. – С. 32–37.
2. Агалаков С.Е., Новосёлова М.Ю. Газоносность надсенонских отложений Западной Сибири // Известия ВУЗов. Нефть и газ. ТИУ. – 2019. – № 4. – С. 10–23.
3. Стратиграфия и индексация продуктивных пластов надсенонского газоносного комплекса Западной Сибири / С.Г. Черданцев, И.И. Нестеров, Д.А. Огнев, И.Ю. Назаренко, Н.В. Кириченко // Горные ведомости. – 2017. – № 2. – С. 14–27.
4. 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.
5. Новосёлова М.Ю., Агалаков С.Е., Кудаманов А.И. Характеристика верхнемеловых флюидопоров Западной Сибири // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2020. – № 10 (346). – С. 35–46.
6. Казак А.В., Чугунов С.С., Чашков А.В. Комплексирование данных по текстуре и минеральному составу при исследовании породы-коллектора в отложениях берёзовской свиты // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО-Югры: Материалы XXI научно-практической конференции. – Ханты-Мансийск, 2018. – С. 228–240.
7. Jones B., Renaut R.W. Microstructural changes accompanying the opal-A to opal-CT transformation: new evidence from the siliceous sinters of Geysir, Haukadalur, Iceland // Sedimentology. – 2007. – V. 54. – № 4. – P. 921–949.
8. A review of the classification of opal with reference to recent new localities / N.J. Curtis, J.R. Gascooke, M.R. Johnston, A. Pring // Minerals. – 2019. – V. 9 (5). – P. 299–313.
9. Elzeal J.M., Odom E., Miles W.J. Distinguishing well ordered opal-CT and opal-C from high temperature cristobalite by x-ray diffraction // Analytica Chimica Acta. – V. 286. – Iss. 1. – P. 107–116.
10. Smith D.K. Opal, cristobalite, and tridymite: noncrystallinity versus crystallinity, nomenclature of the silica minerals and bibliography // Powder Diffraction. – 1997. – V. 13 (01). – P. 2–19.
11. Assessment of quartz materials crystallinity by X-ray diffraction / M.V. Korovkin, L.G. Ananieva, T.S. Nebera, A.A. Antsiferova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 110. – 2016. – V.110. – № 1. – Article № 012095.
12. Application of Fourier transform infrared spectroscopy to silica diagenesis: the Opal-A to Opal-Ct transformation / B. Rice, H. Freund, W.L. Huang, J.A. Clouse // SEPM Journal of Sedimentary Research. – 1995. – V. 65A.
13. Calculation of quartzite crystallinity index by infrared absorption spectrum / O.S. Razva, A.M. Anufrienkova, M.V. Korovkin, L.G. Ananjeva, R.N. Abramova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2014. – V. 21. – P. 1–4.
14. Плюснина И.И. Исследование структурной неупорядоченности халцедонов методом инфракрасной спектроскопии // ДАН СССР. – 1978. – Т. 240. – № 4. – С. 839–842.
15. Gliozzo E. Variations on the silica theme: classification and provenance from Pliny to current supplies // EMU Notes in Mineralogy. – 2019. – V. 20. – Ch. 2. – P. 13–85.
16. Афонин В.П., Гуничева Т.Н., Пискунова Л.Ф. Рентгенофлуоресцентный силикатный анализ. – Новосибирск: Наука, 1984. – 227 с.
17. Гааль Л.Н., Кузьмин А.Г. Масс-спектрометрические элементный и изотопный анализы: особенности приборной реализации // Научное приборостроение. – 2002. – Т. 12. – № 3. – С. 26–30.
18. Дорошенко А.А., Карымова Я.О. Характеристика пустотного пространства опок сенонских отложений севера Западной Сибири // Экспозиция Нефть Газ. – 2017. – № 6 (59). – С. 23–27.
19. Хабибуллин Д.Я., Рыбьяков А.Н., Ситдииков Н.Р. Литолого-минералогические и промышленно-геологические критерии выделения продуктивных зон в сенонских отложениях // Газовая промышленность. – 2018. – № 8 (772). – С. 34–41.
20. Weller R., Behl R.J. Physical and mechanical characteristics of the Opal-A to Opal-CT transition zone: enhanced diatomite permeability from heterogeneous diagenetic embrittlement // Search and Discovery. – 2015. – Article № 51112.
21. Varkouhi Sh., Cartwright J.A., Tosca N.J. Anomalous compaction due to silica diagenesis – textural and mineralogical evidence from hemipelagic deep-sea sediments of the Japan Sea // Marine Geology. – 2020. – V. 426. – Article № 106204.
22. Salih Muhammad Awadha, Zaher Mundher Yaseenb. Investigation of silica polymorphs stratified in siliceous geode using FTIR and XRD methods // Materials Chemistry and Physics. – 2019. – V. 228. – P. 45–50.
23. Особенности минерального состава низкопроницаемых кремнисто-глинистых пород-коллекторов берёзовской свиты севера Западной Сибири / Л.Г. Ананьева, А.А. Дорошенко, С.С. Ильенко, Я.О. Карымова, М.В. Коровкин, Ю.А. Максимова, А.В. Пестерев, О.Н. Процкий, О.В. Савинова, М.О. Хрущева // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 12. – С.114–123.
24. Пеков И.В. Минералогия литофильных редких элементов. Барий и стронций. – М.: МГУ, 2012. – 71 с.
25. Казаринов В.П. Наши разногласия (Ответ на статью Н.М. Страхова) // Литология и полезные ископаемые. – 1965. – № 5. – С. 87–96.

Поступила 15.04.2022 г.

## Информация об авторах

**Ананьева Л.Г.**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

**Дорошенко А.А.**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории подсчёта запасов ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

**Дорошенко А.А.**, кандидат технических наук, начальник центра геологического моделирования ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

**Изосимов Д.И.**, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора – главный геолог ООО «Газпром добыча Ноябрьск».

**Карымова Я.О.**, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории подсчёта запасов ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

**Качинкас И.В.**, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией подсчёта запасов ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

**Коровкин М.В.**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, профессор отделения нефтегазового дела Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет; профессор Факультета инновационных технологий, Национальный исследовательский Томский государственный университет.

**Нерсесов С.В.**, кандидат технических наук, заместитель генерального директора – главный геолог ООО «Газпром добыча Надым».

**Постникова О.В.**, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры литологии Российский университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина.

UDC 553.9:549.02

## LITHOLOGICAL AND MINERALOGICAL SUBSTANTIATION OF THE LOWER BEREZOVSKAYA SUBFORMATION STRATIFICATION OF THE MEDVEZHYE AND VYNGAPUROVSKOE DEPOSITS

**Lyudmila G. Ananyeva**<sup>1</sup>,  
lga@tpu.ru

**Alexandr A. Doroshenko**<sup>2</sup>,  
ssdoro.47@mail.ru, a.doroshenko@nedra.gazprom.ru

**Alexey A. Doroshenko**<sup>2</sup>,  
alexey.doroshenko@nedra.gazprom.ru

**Dmitry I. Izosimov**<sup>3</sup>,  
info@noyabrck-dobycha.gazprom.ru

**Yana O. Karymova**<sup>2</sup>,  
ya.karymova@nedra.gazprom.ru

**Igor V. Kachinskas**<sup>2</sup>,  
i.kachinskas@nedra.gazprom.ru

**Mikhail V. Korovkin**<sup>1,4</sup>,  
mvk@tpu.ru

**Sergey V. Nersesov**<sup>5</sup>,  
nersesov@nadym-dobycha.gazprom.ru

**Olga V. Postnikova**<sup>6</sup>,  
olgapostnikova@yandex.ru

<sup>1</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

<sup>2</sup> «Gazprom VNIIGAZ»,  
70, Gertsen street, Tyumen, 625000. Russia.

<sup>3</sup> «Gazprom dobycha Noyabrsk»,  
2, 40 let Pobedy street, Noyabrsk, 629806, Russia.

<sup>4</sup> National Research Tomsk State University,  
36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

<sup>5</sup> «Gazprom dobycha Nadym»,  
1, Zverev street, Nadym, 629736, Russia.

<sup>6</sup> Gubkin Russian University of Oil and Gas (NIU),  
65, Leninskiy avenue, Moscow, 119991, Russia.

**Relevance.** At present, the study of Suprasenomanian deposits, including deposits of the Lower Berezovskaya subformation of Cognac-Santonian age, composed of siliceous rocks, has moved from the category of theoretical interest to the category of practically important research. This is due to the fact that industrial gas content was confirmed at six sites (Van-Egansky – NB<sub>1</sub> formation, Vyngapurovsky – NB<sub>4</sub>, Medvezhye – NB<sub>3</sub>-NB<sub>4</sub>, Novo-Chasel'sky – NB<sub>3</sub>, Komsomolsky – NB<sub>1</sub>, Kharampursky – NB<sub>1</sub>). There are four layers of the Lower Berezovskaya subformation (the NB horizon), however, criteria for determining the boundaries of these layers have not yet been identified. In this paper, the substantiation of lithological-mineralogical and commercial-geophysical criteria for stratigraphic dissection of the section of the Nizhneberez subformation is given.

**The object** of the study is the Berezovskaya formation, which deposits in the north of Western Siberia contain significant gas resources, considered as a reserve for «prolonging the life» of deposits during the development of highly productive Cenomanian deposits.

**The aim:** improving the efficiency of geological exploration to identify gas deposits in siliceous rocks of xenon by clarifying the stratigraphic structure of the rocks of the Berezovskaya formation.

**Methods.** The dissection of the sections was carried out on wells drilled in recent years, with continuous core sampling and with an expanded complex of geophysical studies of wells (GIS), including electrical, radioactive, acoustic, nuclear magnetic methods. The mineral composition was determined by studying the core by X-ray diffraction analysis (more than 300 samples), infrared spectroscopy (220 samples). The composition of chemical elements in rocks was determined by X-ray fluorescence analysis (more than 300 samples) and inductively coupled plasma mass spectrometry (70 samples).

**Results.** It is shown that the boundary between the NB<sub>2</sub> and NB<sub>3</sub> layers does not have unambiguous GIS criteria. At the Medvezhye field, this boundary is determined by the abrupt change in the readings of the nuclear magnetic and acoustic logs, at the Vyngapurovskoe field such abrupt changes in the curves of these methods are not noted. The paper shows that the boundary between the B<sub>3</sub> and B<sub>2</sub> layers has a clear characteristic of the mineral composition of rocks and is determined by a sharp decrease in the proportion of zeolites (clinoptilolite) during the transition from NB<sub>3</sub> to NB<sub>2</sub>. Along with a decrease in the content of clinoptilolite at the boundary between the B<sub>3</sub> and B<sub>2</sub> layers, there is also a sharp change in the chemical composition of rocks, in particular, a sharp decrease in the proportion of strontium is noted. This tendency to decrease the proportion of clinoptilolite and strontium in rocks can be explained by the attenuation of volcanic activity in the south-east of Western Siberia.

### Key words:

Berezovskaya formation, stratotype, formation, silicides, silica, opal, quartz, zeolite, clinoptilolite, strontium, X-ray diffraction analysis, infrared spectroscopy.

## REFERENCES

1. Nezhdanov A.A., Ogibenin V.V., Skrylev S.A. Structure and prospects of gas content of the Senonian deposits in the north of Western Siberia. *Gas industry*, 2012, no. 676, pp. 32–37. In Rus.
2. Agalakov S.E., Novosyolova M.Yu. Gas content of the supra-Cenomanian deposits of Western Siberia. *Izvestiya VUZov. Oil and gas, TIU*, 2019, no. 4, pp. 10–23. In Rus.
3. Cherdantsev S.G., Nesterov I.I., Ognev D.A. Stratigraphy and indexation of productive strata of the supra-Cenomanian gas-bearing complex of Western Siberia. *Gornye Vedomosti*, 2017, no. 2, pp. 14–27. In Rus.
4. Kudamanov A.I., Agalakov S.E., Marinov V.A. Transgressive-regressive nature of sedimentation in the Coniac-Santonian deposits of the Upper Cretaceous in Western Siberia. *Oil Industry*, 2018, no. 7, pp. 58–63. In Rus.
5. Novoselova M.Yu., Agalakov S.E., Kudamanov A.I. Characteristics of the Upper Cretaceous seals of Western Siberia. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2020, no. 10 (346), pp. 35–46. In Rus.
6. Kazak A.V., Chugunov S.S., Chashkov A.V. Kompleksirovanie dannyykh po teksture i mineralnomu sostavu pri issledovanii porody-kollektora v otlozheniyakh berezovskoy svity [Combination of data on texture and mineral composition in the study of the reservoir rock in the deposits of the Berzovskaya suite]. *Puti realizatsii neftegazovogo potentsiala KhMAO–Yugry. XXI konferentsiya* [Proc. of the twenty-first scientific and practical conference. Ways to realize the oil and gas potential KhMAO–Yugry]. Khanty-Mansiysk, 2018. pp. 228–240.
7. Jones B., Renaut R.W. Microstructural changes accompanying the opal-A to opal-CT transformation: new evidence from the siliceous sinters of Geysir, Haukadalur, Iceland. *Sedimentology*, 2007, vol. 54 (4), pp. 921–948.
8. Curtis N.J., Gascooke J.R., Johnston M.R., Pring A. A review of the classification of opal with reference to recent new localities. *Minerals*, 2019, vol. 9 (5), pp. 299–313.
9. Elzeal J.M., Odom E., Miles W.J. Distinguishing well ordered opal-CT and opal-C from high temperature cristobalite by x-ray diffraction. *Analytica Chimica Acta*, vol. 286, Iss. 1, pp. 107–116.
10. Smith D.K. Opal, cristobalite, and tridymite: Noncrystallinity versus crystallinity, nomenclature of the silica minerals and bibliography. *Powder Diffraction*, 1997, vol. 13 (01), pp. 2–19.
11. Korovkin M., Ananieva L., Nebera T., Antsiferova A. Assessment of quartz materials crystallinity by x-ray diffraction. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 110*, 2016, 012095.
12. Rice B., Freund H., Huang W.L., Clouse J.A. Application of Fourier transform infrared spectroscopy to silica diagenesis: the Opal-A to Opal-Ct transformation. *SEPM Journal of Sedimentary Research*, 1995, vol. 65A.
13. Razva O.S., Anufrienkova A.M., Korovkin M.V., Ananjeva L.G., Abramova R.N. Calculation of quartzite crystallinity index by infrared absorption spectrum. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2014, vol. 21, pp. 1–4.
14. Plyusnina I.I. Study of the structural disorder of chalcedony by infrared spectroscopy. *DAN SSSR*, 1978, vol. 240, no. 4, pp. 839–842. In Rus.
15. Gliozzo E. Variations on the silica theme: classification and provenance from Pliny to current supplies. *EMU Notes in Mineralogy*, 20196 vol. 20, Ch. 2, pp. 13–85.
16. Afonin V.P., Gunicheva T.N., Piskunova L.F. *Rentgenofluorescentnyy silikatnyy analiz* [X-ray fluorescence silicate analysis]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1984. 227 p.
17. Gaal L.N., Kuzmin A.G. Mass spectrometric elemental and isotope analyzes: features of instrumental implementation. *Scientific Instrumentation*, 2002, vol. 12, no. 3, pp. 26–30. In Rus.
18. Doroshenko A.A., Karymova Y.O. Characteristics of the void space of the opoks of the Senonian deposits in the north of Western Siberia. *Exposition Oil and Gas*, 2017, no. 6 (59), pp. 23–27. In Rus.
19. Khabibullin D.Ya., Rybyakov A.N., Sitdikov N.R. Lithological-mineralogical and field-geological criteria for identifying productive zones in the Senonian deposits. *Gas industry*, 2018, no. 8 (772), pp. 34–41. In Rus.
20. Weller R., Behl R.J. Physical and mechanical characteristics of the Opal-A to Opal-CT transition zone: enhanced diatomite permeability from heterogeneous diagenetic embrittlement. *Search and Discovery*, 2015, vol no, article no. 51112.
21. Varkouhi Sh., Cartwright J.A., Tosca N.J. Anomalous compaction due to silica diagenesis – textural and mineralogical evidence from hemipelagic deep-sea sediments of the Japan Sea. *Marine Geology*, 2020, vol. 426, article no. 106204.
22. Salih Muhammad Awadha, Zaher Mundher Yaseenb. Investigation of silica polymorphs stratified in siliceous geode using FTIR and XRD methods. *Materials Chemistry and Physics*, 2019, vol. 228, pp. 45–50.
23. Ananyeva L.G., Doroshenko A.A., Ilenok S.S., Karymova Y.O., Korovkin M.V., Maksimova Y.A., Pesterev A.V., Protsky O.N., Savinova O.V., Khrushcheva M.O. Features of mineral composition of low-permeable siliceous-clay reservoir rocks from the berzovskaya formation in the north of Western Siberia. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2021, vol. 332, no. 12, pp. 114–123. In Rus.
24. Pekov I.V. *Mineralogiya litofilnykh redkikh elementov. Bariy i strontsiy* [Mineralogy of lithophilic rare elements. Barium and strontium]. Moscow, MGU Publ., 2012. 71 p.
25. Kazarinov V.P. Nashi raznoglasiya (Otvét na statyu N.M. Strakhova) [Our disagreements (Response to the article by N.M. Strakhov)]. *Lithology and Minerals*, 1965, no. 5, pp. 87–96.

Received: 15 April 2022.

## Information about the authors

**Lyudmila G. Ananyeva**, Cand Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Alexandr A. Doroshenko**, Dr. Sc., chief researcher, «Gazprom VNIIGAZ».

**Alexey A. Doroshenko**, Cand. Sc., head of the geological modeling center, «Gazprom VNIIGAZ».

**Dmitry I. Izosimov**, Cand Sc., deputy general director – chief geologist, «Gazprom dobycha Noyabrsk».

**Yana O. Karymova**, Cand Sc., researcher, «Gazprom VNIIGAZ».

**Igor V. Kachinskas**, Cand Sc., head of the laboratory for calculation of reserves, «Gazprom VNIIGAZ».

**Mikhail V. Korovkin**, Dr. Sc., professor, senior researcher, National research Tomsk Polytechnic University; professor, National Research Tomsk State University.

**Sergey V. Nersesov**, Cand Sc., deputy general director – chief geologist, «Gazprom dobycha Nadym».

**Olga V. Postnikova**, Dr. Sc., professor, Gubkin Russian University of Oil and Gas (NIU).