DOI: https://doi.org/10.25689/NP.2021.2.1-17 УДК 553.98(571.1):552

# Особенности определения минерального состава пород нижнеберезовской подсвиты на примере Харампурского лицензионного участка

Александров М.А., Соловьёва А.В., Аржиловская Н.Н., Шульга Р.С. ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

# Features of determining the mineral composition of rocks of the Lower Berezovskaya subformation on the example of Kharampursky gas condansate field

M.A. Aleksandrov, A.V. Solovyeva, N.N. Arzhilovskaya, R.S. Shulga Tyumen Petroleum Research Center, Tyumen, Russia

#### E-mail: maaleksandrov@tnnc.rosneft.ru

Аннотация. В работе рассмотрены проблемы, возникающие при установлении вещественного состава пород нижнеберезовской подсвиты. Нижнеберезовский резервуар сложен глинистыми опоками с высокой пористостью и низкой проницаемостью, глинистые минералы представлены смектитами, имеющими высокую способность к разбуханию в водной среде. Основным методом изучения вещественного состава является метод рентгеновской дифракции, но он осложнен наличием в составе пород нижнеберезовской подсвиты аморфного кремнезема, и глин с низкой кристалличностью, и плохой стехиометрией. Предложен методический подход при изучении пород коньяксантон-кампанского яруса рентгеноструктурным анализом.

Ключевые слова: рентгеноструктурный анализ; подготовка образцов; нижнеберезовская подсвита; рентгеноаморфный кремнезем; опал-кристобалит-тридимит; выщелачивание

Для цитирования: Александров М.А., Соловьёва А.В., Аржиловская Н.Н., Шульга Р.С. Особенности определения минерального состава пород нижнеберезовской подсвиты на примере Харампурского лицензионного участка//Нефтяная провинция.-2021.-№2(26).-С.1-17. DOI https://doi.org/10.25689/NP.2021.2.1-17

**Abstract.** In this paper, we consider the problems that arise when determining the mineral composition of the rocks of the Lower Bberezovskaya subformation.

<sup>©</sup> Александров М.А., Соловьёва А.В., Аржиловская Н.Н., Шульга Р.С., 2021

Сетевое научное издание «Нефтяная провинция». http://www.vkro-raen.com

The Lower Berezovskaya reservoir is composed of clayey gaize with high porosity and low permeability; clay minerals are represented by smectites, which have a high swelling capacity in an aquatic environment. The main method for studying the material composition is the X-ray diffraction method, but it is complicated by the presence of amorphous silica and clays with low crystallinity and poor stoichiometry in the composition of the rocks of the Lower Berezovskaya subformation. A methodological approach is proposed for the study of the rocks of the Cognac-Santonian-Campanian Stage by X-ray diffraction analysis.

*Key words:* X-ray diffraction analysis; sample preparation; the Lower Berezovskaya subformation; x-ray amorphous silica; opal-cristobalite-tridymite; leaching

**For citation:** M.A. Aleksandrov, A.V. Solovyeva, N.N. Arzhilovskaya, R.S. Shulga Osobennosti opredelenija mineral'nogo sostava porod nizhneberezovskoj podsvity na primere Harampurskogo licenzionnogo uchastka [Features of determining the mineral composition of rocks of the Lower Berezovskaya subformation on the example of Kharampursky gas condansate field]. Neftyanaya Provintsiya, No. 2(26), 2021. pp. 1-17. DOI https://doi.org/10.25689/NP.2021.2.1-17 (in Russian)

В настоящее время большая часть сеноманских газовых залежей Западной Сибири находятся на поздней стадии разработки. Интенсивная добыча газа естественным образом рано или поздно приводит к падению добычи. Падение добычи вынуждает недропользователей к поиску способов ее поддержания. Одним из наиболее приоритетных объектов поиска углеводородов на Харампурском лицензионном участке являются отложения нижнеберезовской подсвиты. Харампурское месторождение находится на севере Западно-Сибирской равнины на территории Пуровского и Красноселькупского районов Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области (Рис. 1).

Газоперспективность отложений нижнеберезовской подсвиты проанализирована в работах [1-3]. Надсеноманские продуктивные отложения представляют значительный резерв прироста запасов газа для месторождений с падающей добычей, на которых завершается выработка запасов сеноманского газа. Запасы газа экспертно оцениваются в объеме 35-60 % от запасов газа в подстилающих сеноманских отложениях. Интервалы установленной газонасыщенности в этих отложениях, приурочены к коллекторам с низкой проницаемостью и специфическим литологическим составом.



Рис. 1. Обзорная карта расположения Харампурского лицензионного участка

Объектом минералогических исследований являются породы березовской свиты коньяк-сантон-кампанского возраста скважин Харампурского месторождения. Породы нижнеберезовской подсвиты представлены биогенно-хемогенными существенно кремневыми нетрадиционными коллекторами с преобладанием глинисто-кремневых пород и опок [4].

Глинистые опоки обладают высокой пористостью и низкой проницаемостью, глинистые минералы представлены смешаннослойными образованиями ряда гидрослюда-монтмориллонит, имеющими высокую способность к разбуханию в водной среде. Поэтому при бурении скважин с обычными растворами на водной основе, из-за проникновения фильтрата в пласт происходит набухание этих глинистых минералов, и в призабойной зоне поры запечатываются [5]. В связи с этим необходимы детальные минералогические исследования с целью оценки влияния вещественного состава пород на фильтрационно-емкостные свойства отложений.

Основными методами определения минерального состава горных пород являются: петрография, растровая электронная спектроскопия и

рентгеноструктурный анализ. Прямой метод петрографического анализа не позволяет дать количественное соотношение глинистой и кремневой составляющей из-за структурных особенностей пород березовской свиты, а именно малых размеров породообразующих компонентов и слабой реакции на поляризованный свет. В исследованиях методом растровой электронной микроскопии нет принятой терминологии, отражающей особенности структуры аморфного кремнезема. Главным источником информации о минеральном составе остается метод рентгеновской дифракции [6].

Традиционные терригенные породы-коллекторы обычно представлены кварцем, как основным породообразующим компонентом (до 100 %), полевыми шпатами в подчиненном количестве, а также глинистыми ненабухающими минералами. (Рис. 2-I, дифрактограмма из архива ООО «ТННЦ»).

Нетрадиционный коллектор нижнеберезовской подсвиты сенона в пределах Красноселькупского и Пуровского районов Западной Сибири представлен опал-кристобалит-тридимитовой (ОКТ) фазой в качестве основного компонента, глинистыми минералами, средневзвешенное содержание которых от 8 до 20 %, а также кварцем от 5 до 20 % и незначительной примесью полевых шпатов. Пример дифрактограммы и результаты определения минерального состава опоки (Рис. 2-II).

При проведении рентгенографических исследований пород нижнеберезовской подсвиты, вскрытых при бурении скважин на Харампурском лицензионном участке, возникает несколько проблем. Наличие в составе пород нижнеберезовской подсвиты аморфного кремнезема, глин с низкой кристалличностью и плохой стехиометрией затрудняет рентгенографические исследования. По сравнению с изучением традиционного коллектора, изучение пород нижнеберезовской подсвиты методом рентгеновской дифрактометрии имеет некоторые особенности (Рис. 2-II, дифрактограмма образца № 3):

- плохое соотношение сигнал-фон;
- четко выраженные рефлексы только для доминирующей фазы;
- низкая интенсивность аналитического сигнала глинистых минералов в области от 5 до 13° по 2Θ;
- нет улучшения качества полученных дифрактограмм при изменении условий съемки;
- стандартная подготовка проб не дает качественного препарата для исследования.



Рис. 2. Дифрактограммы образцов горных пород для традиционного (I) и нетрадиционного коллектора (II)

С целью оценки возможности применения нового подхода к подготовке образцов для рентгенографических исследований и снижения погрешности определения минералогического состава пород нижнеберезовской подсвиты были отобраны 35 образцов горной породы пласта НБ1 нижнеберезовской подсвиты из скважин с керном изученных в Центре исследований керна ООО «ТННЦ» в рамках производственной деятельности. На этих образцах провели комплекс минералогических исследований, включающий в себя:

- рентгеноструктурный анализ глин определение минерального состава глинистой компоненты (XRD);
- рентгеноструктурный анализ валовый определение валового минерального состава (XRD);
- рентгенофлуоресцентный анализ определение элементного состава (XRF).

В книге «Химия кремнезема» [7] описан механизм растворения аморфного кремнезема в присутствии щелочи. Реакция растворения кремнезема может быть представлена уравнением:

 $SiO_2 + 2NaOH \leftrightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$ 

В результате реакции образуется силикат натрия в виде растворенного в воде стекловидного вещества. Одним из способов подготовки образцов к рентгенографическим исследованиям в литературе [8, 9] описано нагревание на водяной бане исследуемого образца в течение 2-3 минут в присутствии 0,5 н раствора NaOH или в присутствии Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Для проверки применимости метода растворения аморфного кремнезема в подготовке проб для исследований минерального состава пород березовской свиты провели эксперимент по выщелачиванию на 35 образцах. Навеску в 10 грамм поместили в коническую колбу, залили 0,5 н раствором NaOH и нагревали до 80°C в течение 3 мин. Затем осадок отфильтровали и промыли до нейтральной среды. Полученный на фильтре осадок высушили до постоянной массы, затем истирали в мельнице и фиксировали дифракционную картину. Полученная дифрактограмма имела вид близкий к исходной (Рис. 2-II), что указывает на неполное растворение кремнезема. После этого провели серию экспериментов по выщелачиванию с различным временем нагревания образца в присутствии 0,5 н раствора NaOH. По результатам эксперимента было установлено, что полное растворение аморфного кремнезема достигается при времени нагрева более двух часов.

Исследования валового минерального состава и состава глин выполнялись на рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV с геометрией Брэгга-Брентано. При проведении анализа использовалось СиК $\alpha$  излучение, напряжение на трубке 40 kV, сила тока 30 mA. Съемка проводилась по точкам, максимальный угловой диапазон сканирования от 3 до 65°, с шагом сканирования 0,02° по 2 Тета, с экспозицией 1 с. Общий минеральный состав определялся на порошковой пробе, приготовленной на шаровой мельнице XRD-Mill McCrone с размольной гарнитурой из корунда. Идентификация и количественное определение веществ выполнялись в программном комплексе PDXL 2 с использованием эталонных дифрактограмм индивидуальных соединений, содержащихся в международной базе дифракционных стандартов ICDD PDF-2 Release 2015 [10], а также кристаллографической базы данных для минералов и их структурных аналогов WWW-MUHKPUCT [11].

По результатам валового рентгеноструктурного анализа всех экспериментальных образцов был установлен их минеральный состав (Табл. 1).

Элементный состав образцов исследовался на рентгенофлуоресцентном спектрометре Bruker S8 Tiger II, Rh Ka излучение. Результаты представлены в табл. 2.

# Таблица 1

					Соде	ржание	минера	лов, %				
№	Иллит	Иллит-смектит	Смектит	Каолинит	Хлорит	Кварц	Плагиоклазы	Пирит	Кальцит	Анкерит/ доло- мит	Сидерит	Опал- кристобалит- тридимит
1	1,8	0,3	7,9	1,7	1,5	12,0	3,3	3,2	-	-	-	68,3
2	1	0,3	7,1	0,9	0,8	9,8	2,9	1,8	-	-	-	75,4
3	1,2	0,3	7,3	1,1	0,9	16,8	2,9	1,5	-	-	-	68,0
4	1,7	0,1	6,6	0,9	1,5	20,6	2,7	1,9	-	-	-	63,9
5	2,5	0,6	9,3	1,2	1,0	14,1	3,0	1,4	-	-	-	67,0
6	2,7	0,6	14	1,6	1,6	19,4	4,1	3,1	-	-	-	52,9
7	2,8	0,2	3,4	0,7	0,9	9,2	-	-	-	-	-	82,7
8	3,5	-	6	1,5	1,5	12,3	2,2	2,5	-	-	-	70,6
9	1,3	0,2	3,9	1	0,6	14,0	2,6	2,1	-	-	-	74,3
10	1	0,1	2,1	0,3	0,8	12,1	1,6	0,8	-	-	-	81,3
11	1	0,2	3,9	0,5	0,9	13,2	-	0,8	-	-	-	79,5
12	1,5	0,3	4,1	1,1	1,2	11,6	1,3	0,9	-	-	-	78,0
13	1,4	0,3	7,2	1,2	1,4	11,5	2,0	1,2	-	-	-	73,8
14	1,2	0,5	10	1	0,8	15,0	2,6	1,5	-	-	5,4	61,9
15	1,6	0,3	12	0,8	1,1	7,9	3,5	2,3	-	-	-	70,5
16	1,9	0,6	12	0,8	1,0	10,6	3,1	0,9	-	-	4,1	65,2
17	2,8	0,5	8,8	0,5	0,7	10,0	2,3	6,9	-	-	-	67,4
18	1,6	0,4	16	1,2	1,4	15,6	7,9	4,1	-	-	-	52,0
19	2,2	0,4	14	1,8	1,2	13,7	3,7	3,2	-	-	-	59,6
20	2,9	0,5	4,7	0,3	0,6	5,5	1,9	1,2	-	-	-	82,3
21	2,6	0,7	16	2,1	2,3	14,7	3,8	3,0	-	3,4	-	51,7
22	3,4	0,5	6,5	0,5	1,4	8,6	2,6	3,5	-	-	-	73,0
23	1,9	0,2	15	1,2	1,2	12,2	4,6	4,3	-	-	-	59,6
24	3	0,3	9,4	0,4	1,0	5,2	-	1,7	-	-	-	79,0
25	1,5	0,3	9,5	0,8	0,8	10,7	2,0	2,3	-	-	-	72,2
26	1,7	0,6	17	1,3	0,8	10,8	3,5	3,9	-	-	-	60,9
27	2,2	0,4	6,1	0,4	1,2	8,4	2,4	-	-	-	-	78,8
28	3,6	0,5	6,7	0,8	1,1	10,7	1,8	1,5	-	3,2	1,7	68,4
29	2,4	0,5	10	1,2	1,1	13,4	2,2	3,9	-	3,6	-	61,7
30	2,1	0,2	6,9	0,5	0,7	11,0	4,6	1,1	-	-	0,9	72,0
31	1	0,2	3,6	0,5	0,5	18,9	2,6	3,2	3,1	3,9	2,9	59,6
32	2,5	0,5	8,7	0,8	0,7	14,3	2,1	3,4	_	-	_	67,0
33	2,4	0,3	9,4	0,9	1,3	12,0	1,9	3,2	-	-	-	68,7
34	2,1	0,6	8,1	0,7	0,7	11,9	4,2	1,0	-	-	-	70,6
35	2,3	0,5	9,3	0,8	0,7	13,4	2,8	2,2	-	-	-	67,9

## Минеральный состав образцов опок

# Таблица 2

n v		-	
Эпрмрнтный	COCMAR	กกกลานกล	NNNK
Suchenninon	cocmuo	oopusiqoo	UNUN

		Содержание, %												
№ п/п	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Ba	Прочие	ппп*
1	82,343	0,342	5,851	2,380	0,009	0,417	0,552	0,738	0,747	0,087	0,059	0,078	0,036	6,36
2	88,761	0,207	3,476	1,217	Т	0,255	0,190	0,692	0,432	0,064	0,027	0,016	0,023	4,64
3	88,500	0,222	3,567	1,408	Т	0,206	0,200	0,662	0,469	0,063	0,023	0,010	0,024	4,65
4	87,125	0,228	3,762	1,536	Т	0,226	0,209	0,805	0,461	0,058	0,057	0,020	0,025	5,49
5	85,257	0,283	4,877	1,702	Т	0,257	0,347	0,802	0,571	0,073	0,048	0,013	0,027	5,74
6	81,166	0,377	6,574	2,363	0,009	0,305	0,591	0,863	0,759	0,066	0,053	0,012	0,032	6,83
7	91,110	0,152	2,569	0,890	Т	0,171	0,035	0,672	0,297	0,078	0,017	0,003	0,019	3,99
8	87,890	0,218	3,551	1,650	Т	0,333	0,165	0,750	0,463	0,167	0,040	0,004	0,025	4,74
9	90,392	0,162	2,789	1,046	Т	0,162	0,086	0,692	0,339	0,052	0,016	Т	0,020	4,24
10	93,321	0,102	1,779	0,606	Т	0,114	Т	0,621	0,204	0,050	0,014	Т	0,016	3,17
11	92,289	0,121	2,048	0,805	Т	0,133	Т	0,642	0,243	0,047	0,020	Т	0,018	3,63
12	90,586	0,151	2,827	0,936	0,009	0,159	0,063	0,724	0,310	0,053	0,017	0,004	0,022	4,14
13	87,861	0,228	3,805	1,204	Т	0,209	0,224	0,765	0,448	0,066	0,031	0,012	0,025	5,12
14	80,560	0,270	4,669	4,607	0,026	0,456	0,617	0,866	0,886	0,183	0,095	0,010	0,032	6,72
15	83,033	0,349	5,600	2,090	Т	0,372	0,587	0,950	0,773	0,140	0,045	0,016	0,032	6,01
16	80,278	0,319	5,500	3,438	0,026	0,520	0,711	0,865	0,698	0,215	0,069	0,016	0,029	7,32
17	82,583	0,216	4,144	4,225	0,009	0,384	0,629	0,820	1,154	0,199	0,092	0,008	0,033	5,50
18	75,390	0,525	9,103	3,474	0,017	0,362	1,197	1,047	1,074	0,057	0,079	0,019	0,045	7,61
19	78,845	0,421	7,278	3,095	0,018	0,386	0,855	0,929	0,920	0,107	0,081	0,014	0,042	7,01
20	89,585	0,159	2,718	1,010	0,009	0,163	0,086	0,724	0,314	0,062	0,018	0,002	0,023	5,13
21	77,285	0,449	7,849	3,189	0,026	0,416	0,944	0,940	0,986	0,124	0,082	0,015	0,043	7,65
22	86,536	0,191	2,899	2,352	0,018	0,243	0,187	0,729	0,503	0,132	0,048	0,002	0,031	6,13
23	72,558	0,553	9,828	4,074	0,017	0,477	1,444	1,047	1,214	0,103	0,132	0,016	0,053	8,48
24	88,241	0,186	3,296	1,121	Т	0,189	0,206	0,747	0,373	0,070	0,021	0,002	0,025	5,52
25	85,403	0,266	4,599	1,708	Т	0,254	0,460	0,867	0,556	0,080	0,038	Т	0,033	5,74
26	78,647	0,410	7,033	3,170	0,009	0,349	0,944	0,994	0,946	0,082	0,095	0,013	0,044	7,27
27	89,796	0,151	3,094	0,952	Т	0,184	0,130	0,627	0,335	0,043	0,002	Т	0,030	4,65
28	89,266	0,165	3,481	0,859	Т	0,110	0,121	0,683	0,363	0,033	0,003	Т	0,033	4,88
29	86,851	0,209	4,206	1,245	Т	0,136	0,272	0,670	0,502	0,031	0,003	Т	0,036	5,84
30	87,565	0,205	4,071	1,274	Т	0,227	0,248	0,659	0,518	0,032	0,010	0,033	0,036	5,12
31	88,248	0,179	3,444	1,001	Т	0,126	0,179	0,674	0,432	0,021	0,004	Т	0,033	5,66
32	84,823	0,201	3,939	1,447	Т	0,181	0,271	0,683	0,533	0,030	0,012	Т	0,039	7,84
33	88,175	0,235	3,614	1,671	Т	0,244	0,224	0,696	0,549	0,091	0,037	0,009	0,023	4,40
34	87,311	0,200	4,103	1,224	Т	0,253	0,253	0,665	0,506	0,032	0,015	0,024	0,036	5,38
35	84,421	0,267	5,322	1,753	Т	0,267	0,472	0,718	0,625	0,031	0,019	0,022	0,045	6,04

\* – потери при прокаливании, Т – концентрация менее 0,001%

С целью оценки согласованности данных XRD и XRF провели пересчет данных минерального состава по XRD в концентрации оксидов (элементов). Содержание основных элементов рассчитываем по формуле:

$$C_{\rm ЭЛ} = C_{\rm MИH} \cdot W_{\rm ЭЛ}$$

где  $C_{\text{мин}}$  – содержание минерала в породе,  $W_{\text{эл}}$  – массовый пересчетный коэффициент, показывающий массовую долю оксида в минерале.

После этого для основных породообразующих элементов построили зависимости «содержание элемента, рассчитанное из данных XRD» – «содержание элемента по данным XRF». На рис. 3 представлены зависимости для кремния (I) и алюминия (II).



Рис. 3 График зависимости «содержание элемента, рассчитанное из данных XRD» – «содержание элемента по данным XRF» для кремния (I) и алюминия (II).

Полученные зависимости позволяют сделать вывод о сходимости результатов XRD и XRF, отклонение не превышает 5,0%.

После удаления ОКТ-фазы повторно регистрировали дифрактограммы для каждого исследуемого образца (Рис. 4).

Во всех образцах зафиксировано исчезновение характеристических пиков ОКТ-фазы на 22° по 2 $\Theta$ , а также появление характеристических пиков глин в области от 5 до 13° по 2 $\Theta$ .



Рис. 4. Дифрактограмма образца опоки после выщелачивания аморфного кремнезема

Для проверки сходимости результатов определения содержания ОКТ-фазы различными методами построили зависимость, представленную на рис. 5.

![](_page_10_Figure_4.jpeg)

Рис. 5. График зависимости содержания ОКТ-фазы по XRD и потерь при обработке 0,5 н раствором NaOH

По полученной зависимости можно сделать вывод о том, что результаты определения содержания ОКТ-фазы методом XRD обеспечивает сходимые результаты с гравиметрическим методом определения потерь при выщелачивании аморфного кремнезема. Максимальное расхождение между методами определения содержания аморфного кремнезема в среднем составило 6 % при допустимой погрешности в 8 % по аттестованной методике центра исследований керна ООО «ТННЦ».

Исследование минерального состава глин в породах нижнеберезовской подсвиты, осложняется скрытокристаллической ОКТ-фазой. На рис. 6 представлена дифрактограмма образца опоки полученного стандартным способом. Дифракционная картина характеризуется ярко выраженным опаловым гало в сочетании с главным кристобалитовым рефлексом, а также невыраженными диагностическими признаками глинистых минералов.

![](_page_11_Figure_3.jpeg)

Рис. 6. Дифрактограмма образца опоки полученного стандартной подготовкой при исследовании глин

Для улучшения дифракционной картины глинистой составляющей при подготовке проб к исследованиям сначала проводили растворение аморфного кремнезема, по методике описанной выше. После проведения выщелачивания подготовка образцов выполнялась в соответствии со стандартной методикой исследования принятой в центре исследований керна ООО «ТННЦ». На полученных дифрактограммах отсутствует характеристический рефлекс ОКТ-фазы, а также четко видны диагностические рефлексы глинистых минералов, что обеспечивает достоверность качественного и количественного их определения (Рис. 7). В результате установили минеральный состав глинистой фракции для всех экспериментальных образцов (Табл. 3).

![](_page_12_Figure_2.jpeg)

Рис. 7. Дифрактограмма образца опоки полученного после выщелачивания при исследовании глинистой составляющей методом рентгенофазового анализа

Таблица 3

No	Содержание глинистых минералов %								
JN≌	Каолинит	Хлорит	Иллит	Иллит-смектит	Смектит				
1	2	3	4	5	6				
1	13	11	14	2	60				
2	9	8	10	3	70				
3	10	8	11	3	68				
4	8	14	16	1	61				
5	8	7	17	4	64				
6	8	8	13	3	68				
7	9	11	35	3	42				
8	12	12	28	0	48				
9	14	9	19	3	55				
10	6	19	23	2	50				
11	8	14	15	3	60				
12	13	15	18	4	50				
13	10	12	12	3	63				

# Минеральный состав глинистой фракции опок

Ma	Содержание глинистых минералов %								
JNO	Каолинит	Хлорит	Иллит	Иллит-смектит	Смектит				
14	7	6	9	4	74				
15	5	7	10	2	76				
16	5	6	12	4	73				
17	4	5	21	4	66				
18	6	7	8	2	77				
19	9	6	11	2	72				
20	3	7	32	6	52				
21	9	10	11	3	67				
22	4	11	28	4	53				
23	6	6	10	1	77				
24	3	7	21	2	67				
25	6	6	12	2	74				
26	6	4	8	3	79				
27	4	12	21	4	59				
28	6	9	28	4	53				
29	8	7	16	3	66				
30	5	7	20	2	66				
31	8	8	18	4	62				
32	6	5	19	4	66				
33	6	9	17	2	66				
34	6	6	17	5	66				
35	6	5	17	4	68				

Продолжение табл. 3

По результатам проведенного эксперимента можно сделать выводы:

- Применение метода растворения аморфного кремнезема позволяет улучшить качество подготавливаемых образцов для рентгеновских исследований.
- Предложены к внедрению методические подходы к изучению пород нижнеберезовской подсвиты, включающие:
  - при рентгенофазовом анализе валового минерального состава обработку пробы раствором NaOH применять только для контроля результатов на определенной коллекции образцов, но в обязательном порядке проводить исследования в сочетании с рентгенофлуоресцентным определением элементного состава;

 при рентгенофазовом анализе минерального состава глин ввести в процесс подготовки обработку пробы щелочью для удаления аморфного кремнезема.

#### Список литературы

- 1. Черепанов В.В., Пятницкий Ю.И., Хабибуллин Д.Я., Ситдиков Н.Р. и др. Перспективы наращивания ресурсной базы газовых месторождений на поздней стадии разработки путем изучения промышленного потенциала нетрадиционных коллекторов надсеноманских отложений. Международная научно-практическая конференция, тезисы докладов. Казань, 2014.
- Пережогин А.С., Нежданов А.А., Смирнов А.С. Перспективы освоения сенонского газоносного комплекса севера Западной Сибири // Экспозиция Нефть Газ. 2016. №6. С. 42–45.
- 3. Черепанов В.В., Меньшиков С.Н., Варягов С.А., Оглодков Д.Ю. и др. Проблемы оценки нефтегазоперспективности отложений нижнеберезовской подсвиты севера Западной Сибири // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2015. №2. С. 11–26.
- 4. Мартынюк Е.В., Климова Е.С., Александров М.А., Соловьёва А.В. Литологоминералогическая характеристика пород березовской свиты Харампурского месторождения. 13 Уральское литологическое совещание, тезисы докладов. 2020.
- 5. Нежданов, А.А. Строение и перспективы газоносности сенонских отложений севера Западной Сибири / А.А. Нежданов, В.В. Огибенин, С.А. Скрылев // Газовая промышленность, спецвыпуск «Нетрадиционные ресурсы газа». 2012. №676. С. 32-37.
- 6. Михалкина О.Г. Применение метода рентгеновской дифракции для исследования керна и техногенных продуктов // Вести газовой науки. 2016. №4. С. 96-107.
- 7. Айлер Р.К. Химия кремнезема // М.: Мир, 1982. 416 с.
- 8. Рентгенография основных типов породообразующих минералов (слоистые и каркасные силикаты). Под ред. В.А. Франк-Каменецкого. – Л.: Недра, 1983. С. 159.
- 9. Муравьев В. И. Минеральные парагенезы глауконитово-кремнистых формаций. М.: Наука, 1983. 208 с.
- 10. ICDD Database PDF2 [Электронный ресурс]. PA : ICDD, 2015. 1 электрон. опт. диск (Cd-ROM).
- 11. Кристаллографическая и кристаллохимическая База данных для минералов и их структурных аналогов WWW-МИНКРИСТ [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus

### References

1. Cherepanov V.V., Pyatnitski Yu.I., Habibullin D.Ya., Sitdikov N.R. et al. *Perspektivy* narashchivaniya resursnoy bazy gazovykh mestorozhdeniy na pozdney stadii razrabotki putem izucheniya promyshlennogo potentsiala netraditsionnykh kollektorov nadsenomanskikh otlozheniy. [Potential for increase of the resource base of gas fields at late stages of development by studying the commercial gas potential of unconventional Senomanian reservoirs]. International Conference paper theses, Kazan, 2014. (in Russian)

- 2. Perezhogin A.S., Nezhdanov A.A., Smirnov A.S. *Perspektivy osvoeniya senonskogo gazonosnogo kompleksa severa Zapadnoy Sibiri* [Prospects for development of the Senonian gas-bearing complex of northern part of Western Siberia]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz*, 2016, No.6, pp. 42–45. (in Russian)
- 3. Cherepanov V.V., Men'shikov S.N., Varyagov S.A., Oglodkov D.Yu. et al. *Problemy* otsenki neftegazoperspektivnosti otlozheniy nizhneberezovskoy podsvity severa Zapadnoy Sibiri [Problems associated with evaluation of oil and gas potential of Lower Berezovian subseries in the northern part of Western Siberia]// Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. 2015, No. 2, pp. 11–26. (in Russian)
- 4. Martynyuk E.V., Klimova E.S., Aleksandrov M.A., Solov'yova A.V. *Litologomineralogicheskaya kharakteristika porod berezovskoy svity Kharampurskogo mestorozhdeniya* [Lithological and mineralogical characteristics of the Berezovian sediments of the Kharampurskoye field]. The13<sup>th</sup> Urals lithological meeting, paper theses, 2020. (in Russian)
- 5. Nezhdanov A.A., Ogibenin V.V., Skrylev S.A. *Stroenie i perspektivy gazonosnosti senonskikh otlozheniy severa Zapadnoy Sibiri* [Structure and gas potential of the Senonian sediments in the northern part of Western Siberia]. *Gazovaya promyshlennost*, 2012, No. 676, pp. 32-37. (in Russian)
- 6. Mikhalkina O.G. *Primenenie metoda rentgenovskoy difraktsii dlya issledovaniya kerna i tekhnogennykh produktov* [Application of x-ray diffraction method for core and industrial products studies]. *Vesti gazovoynauki*, 2016, No. 4, pp. 96-107. (in Russian)
- 7. Ayler R.K. *Khimiya kremnezema* [Silica chemistry]. Moscow: Mir Publ., 1982, 416 p. (in Russian)
- 8. Frank-Kamenetsky. *Rentgenografiya osnovnykh tipov porodoobrazuyushchikh mineralov* (*sloistye i karkasnye silikaty*) [X-ray diffraction of the main types of rock-forming minerals (layered and framework silicates)]. Leningrad: Nedra Publ., 1983, 159 p. (in Russian)
- 9. Murav'ev V.I. *Mineral'nye paragenezy glaukonitovo-kremnistykh formatsiy* [Mineral paragenesis of glauconite-silica formations]. Moscow: Nauka Publ., 1983, 208 p. (in Russian)
- 10. ICDD Database PDF2 [Electronic media]. PA : ICDD, 2015. 1 Cd-ROM disc.
- 11. Kristallograficheskaya i kristallokhimicheskaya baza dannykh dlya mineralov i ikh strukturnykh analogov [Crystallographic and crystallochemical database for minerals and their structural analogs], 2020 WWW-MINKRIST Available at: http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus (in Russian)

### Сведения об авторах

Александров Максим Александрович, ООО «Тюменский нефтяной научный центр» Россия, 625002, Тюмень, ул. М. Горького, 42 E-mail: maaleksandrov@tnnc.rosneft.ru

Соловьёва Анна Владимировна, кандидат химических наук, ООО «Тюменский нефтяной научный центр» Россия, 625002, Тюмень, ул. М. Горького, 42 E-mail: avsolovyova@tnnc.rosneft.ru

Аржиловская Наталья Николаевна, ООО «Тюменский нефтяной научный центр» Россия, 625002, Тюмень, ул. М. Горького, 42 E-mail: nnarzhilovskaya@tnnc.rosneft.ru

Шульга Роман Сергеевич, ООО «Тюменский нефтяной научный центр» Россия, 625002, Тюмень, ул. М. Горького, 42 E-mail: rsshulga@tnnc.rosneft.ru

#### Authors

*M.A. Aleksandrov*, Tyumen Petroleum Research Center 42, M. Gorky st., Tyumen, 625002, Russian Federation E-mail: maaleksandrov@tnnc.rosneft.ru

*A.V. Solovyeva*, PhD, Tyumen Petroleum Research Center 42, M. Gorky st., Tyumen, 625002, Russian Federation E-mail: avsolovyova@tnnc.rosneft.ru

*N.N. Arzhilovskaya*, Tyumen Petroleum Research Center 42, M. Gorky st., Tyumen, 625002, Russian Federation E-mail: nnarzhilovskaya@tnnc.rosneft.ru

*R.S. Shulga*, Tyumen Petroleum Research Center 42, M. Gorky st., Tyumen, 625002, Russian Federation E-mail: rsshulga@tnnc.rosneft.ru

> Статья поступила в редакцию 14.04.2021 Принята к публикации 17.06.2021 Опубликована 30.06.2021