

УДК 7215; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-3.08>

<https://orcid.org/0000-0003-0479-6707>

<https://orcid.org/0000-0003-3461-9066>

<https://orcid.org/0000-0002-5634-3390>

<https://orcid.org/0000-0003-0733-6458>

<https://orcid.org/0009-0000-0751-6585>

## МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ КАЗАХСТАНА ДЛЯ ПРОППАНТОВ НА ОСНОВЕ БОКСИТОВ



**А.К. ШОКАНОВ<sup>1</sup>**,  
кандидат физ.-мат. наук,  
профессор,  
[adilhan.shokanov@mail.ru](mailto:adilhan.shokanov@mail.ru)



**М.Ф. ВЕРЕЩАК<sup>2</sup>**,  
кандидат физ.-мат. наук,  
ведущий научный сотрудник,  
[mikhail.vereshchak@mail.ru](mailto:mikhail.vereshchak@mail.ru)



**И.А. МАНАКОВА<sup>2</sup>**,  
научный сотрудник,  
[i.manakova25@mail.ru](mailto:i.manakova25@mail.ru)



**А.А. КЫРЫКБАЕВА<sup>1</sup>**,  
PhD, научный сотрудник,  
[asem40\\_79@mail.ru](mailto:asem40_79@mail.ru)



**Е.А. СМИХАН<sup>1</sup>**,  
научный сотрудник,  
[Erkebulan1@mail.ru](mailto:Erkebulan1@mail.ru)

<sup>1</sup>КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АБАЯ,  
Республика Казахстан, 050010, Алматы, пр-т Достык, 13

<sup>2</sup>ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ,  
Республика Казахстан, 050032, Алматы, ул. Ибрагимова, 1

Основной проблемой на месторождении по добыче нефти и газа является трудноизвлекаемые запасы. В статье рассмотрены перспективные современные методы увеличения нефтеотдачи. Проведен анализ широко используемых методов добычи трудноизвлекаемых запасов нефти и газа. Мессбауэровские исследования отечественного природного минерального сырья пропантов на основе боксита и оксидов алюминия были проведены с целью изучения структурных и фазовых особенностей данных материалов. Пропанты, используемые в гидроразрыве пластов для удержания трещин, играют важную роль в нефтегазовой промышленности. Метод Мессбауэра является мощным инструментом для исследования структуры и электронного состояния атомов в материалах. Он основан на явлении ядерного гамма-резонансного поглощения и позволяет получить информацию о химической окружающей среде ядра. В данном исследовании были использованы пропанты на основе боксита и оксидов алюминия, которые были подвергнуты Мессбауэровскому анализу. Измерения проводились при различных температурах и на разных стадиях процесса получения пропантов. Результаты исследования позволили получить информацию о структурных изменениях, происходящих в материалах во время процесса синтеза пропантов. Были определены фазовые компоненты, присутствующие в исходном сырье и окончательных пропантах. Также были изучены изменения в электронной структуре атомов алюминия в процессе производства пропантов. Исследование Мессбауэровским методом позволяет более глубоко понять процессы, происходящие в материалах на микроуровне и влияющие на их физические и химические свойства. Это может быть полезным для улучшения технологий производства пропантов и оптимизации их свойств для конкретных условий эксплуатации в нефтегазовой промышленности. В данной статье приводятся результаты исследования бокситов Айетского и Красногорского месторождений Краснооктябрьского РУ, а также образцов корунда с месторождений Семизбугы методами РФА и ЯГРС.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** методы увеличения нефтеотдачи, горизонтальное бурение, пропанты, трассеры, контроль эффективности добычи трудноизвлекаемых запасов нефти и газа, ядерно-физические методы исследования, эффект Мессбауэра, рентгене флуоресцентный анализ.

## БОКСИТ НЕГІЗІНДЕГІ ПРОППАНТТАРҒА АРНАЛҒАН ҚАЗАҚСТАННЫҢ ТАБИҒИ МИНЕРАЛДЫҚ ШИКІЗАТЫН МЕССБАУЭРЛІК ЗЕРТТЕУ

**А.К. ШОКАНОВ**<sup>1</sup>, ф.-м.ф.к., профессор, [adilhan.shokanov@mail.ru](mailto:adilhan.shokanov@mail.ru)

**М.Ф. ВЕРЕЩАК**<sup>2</sup>, ф.-м. ф. к., жетекші ғылыми қызметкер, [mikhail.vereshchak@mail.ru](mailto:mikhail.vereshchak@mail.ru)

**И.А. МАНАКОВА**<sup>2</sup>, ғылыми қызметкер, [i.manakova25@mail.ru](mailto:i.manakova25@mail.ru)

**Ә.А. ҚЫРЫҚБАЕВА**<sup>1</sup>, PhD, ғылыми қызметкер, [asem40\\_79@mail.ru](mailto:asem40_79@mail.ru)

**Е.А. СМИХАН**<sup>1</sup>, докторант, ғылыми қызметкер, [Erkebulan1@mail.ru](mailto:Erkebulan1@mail.ru)

<sup>1</sup>АБАЙ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ,  
Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы, Достық даңғылы 13

<sup>2</sup>ЯДРОЛЫҚ ФИЗИКА ИНСТИТУТЫ,  
Қазақстан Республикасы, 050032, Алматы, Ибрагимов көшесі 1

Өндірілуі қиындық туғызатын қорлар - мұнай мен газ өндіру кен орнындағы негізгі мәселелердің бірі. Мақалада мұнай өндіруді арттырудың перспективасы заманауи әдістері қарастырылған. Өндірілуі қиын мұнай мен газ қорларын өндірудің кеңінен қолданылатын әдістеріне талдау жүргізілді. Осы материалдардың құрылымдық және фазалық ерекшеліктерін зерттеу мақсатында боксит пен алюминий оксидтері негізіндегі проппанттардың отандық табиғи минералды шикізатына Мессбауэр зерттеулері жүргізілді. Сызаттарды ұстау үшін гидравликалық жарылуда қолданылатын проппанттар мұнай-газ өнеркәсібінде маңызды рөл атқарады. Мессбауэр әдісі материалдардағы атомдардың құрылымы мен электронды күйін зерттеудің қуатты құралы болып табылады. Ол ядролық гамма-резонансты сңіру құбылысына негізделген және ядроның химиялық ортасы туралы ақпарат береді. Бұл зерттеуде Мессбауэр талдауынан өткен боксит пен алюминий оксидтеріне негізделген проппанттар қолданылды. Өлшеу әртүрлі температурада және проппанттарды алу үдерісінің әртүрлі кезеңдерінде жүргізілді. Зерттеу нәтижелері проппант синтезі үдерісінде материалдарда болатын құрылымдық өзгерістер туралы ақпарат берді. Бастапқы шикізат пен соңғы проппанттарда болатын фазалық компоненттер анықталды. Проппанттарды өндіру үдерісінде алюминий атомдарының электрондық құрылымындағы өзгерістер де зерттелді. Мессбауэр әдісімен зерттеу материалдарда микро деңгейде болатын және олардың физикалық және химиялық қасиеттеріне әсер ететін үдерістерді тереңрек түсінуге мүмкіндік береді. Бұл проппанттарды өндіру технологияларын жақсарту және мұнай-газ өнеркәсібіндегі нақты пайдалану жағдайлары үшін олардың қасиеттерін оңтайландыру үшін пайдалы болуы мүмкін. Бұл мақалада Аьет және Краснооктябрь РУ Красногорск кен орындарының бокситтерін, сондай-ақ РФА және ЯГРС әдістерімен Семизбуға кен орындарынан алынған корунд сынамаларын зерттеу нәтижелері келтірілген.

**ТҮЙІН СӨЗДЕР:** мұнай өндіруді арттыру әдістері, көлденең бұрғылау, пропанттар, трассерлер, мұнай мен газдың қиын қорларын өндіру тиімділігін бақылау, ядролық-физикалық зерттеу әдістері, Мессбауэр эффекті, рентгендік флуоресцентті талдау.

## MOSSBAUER STUDIES OF NATURAL MINERAL RAW MATERIALS OF KAZAKHSTAN FOR BAUXITE-BASED PROPPANTS

**A.K. SHOKANOV**<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Phys-Math), Professor, [adilhan.shokanov@mail.ru](mailto:adilhan.shokanov@mail.ru)

**M. F. VERESHCHAK**<sup>2</sup>, Cand. Sci. (Phys-Math), [mikhail.vereshchak@mail.ru](mailto:mikhail.vereshchak@mail.ru)

**I. A. MANAKOVA**<sup>2</sup>, Researcher, [i.manakova25@mail.ru](mailto:i.manakova25@mail.ru)

**A.A. KYRYKBAYEVA**<sup>1</sup>, PhD, Researcher, [asem40\\_79@mail.ru](mailto:asem40_79@mail.ru)

**Y. A. SMIKHAN**<sup>1</sup>, Researcher, [Erkebulan1@mail.ru](mailto:Erkebulan1@mail.ru)

<sup>1</sup>KAZAKH NATIONAL PEDAGOGICAL UNIVERSITY NAMED AFTER ABAI,  
Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, Dostyk Avenue 13

<sup>2</sup>INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS,  
Republic of Kazakhstan, 050032, Almaty, str. Ibragimova 1

*The main problem at the oil and gas field is hard-to-recover reserves. The article discusses promising modern methods of increasing oil recovery. The analysis of widely used methods of extraction of hard-to-recover oil and gas reserves is carried out. The Mossbauer studies of the domestic natural mineral raw materials of proppants based on bauxite and aluminum oxides were carried out in order to study the structural and phase features of these materials. Proppants used in hydraulic fracturing to hold cracks play an important role in the oil and gas industry. The Moessbauer method is a powerful tool for studying the structure and electronic state of atoms in materials. It is based on the phenomenon of nuclear gamma resonance absorption and provides information about the chemical environment of the nucleus. In this study, proppants based on bauxite and aluminum oxides were used, which were subjected to a Mossbauer analysis. The measurements were carried out at different temperatures and at different stages of the proppant*

*production process. The results of the study allowed us to obtain information about the structural changes occurring in materials during the synthesis of proppants. The phase components present in the feedstock and final proppants were determined. Changes in the electronic structure of aluminum atoms during the production of proppants were also studied. The study by the Mössbauer method allows a deeper understanding of the processes occurring in materials at the micro level and affecting their physical and chemical properties. This can be useful for improving proppant production technologies and optimizing their properties for specific operating conditions in the oil and gas industry. This article presents the results of the study of bauxite from the Ayetskoye and Krasnogorskoye deposits of the Krasnooktyabrsky RU, as well as corundum samples from the Semizbugy deposits by the methods of RFA and JAGRS.*

**KEY WORDS:** *methods of increasing oil recovery, horizontal drilling, proppants, tracers, control of the efficiency of extraction of hard-to-recover oil and gas reserves, nuclear physical research methods, the Mossbauer effect, X-ray fluorescence analysis.*

**В**ведение. С годами потребность в углеводородном сырье возрастает. В связи с этим перед нефтяниками стоит задача освоение новых трудноизвлекаемых залежей. За счет освоения сланцевых месторождений нефти и газа в США (Пермского) и РФ (Западносибирского) месторождений, доля трудноизвлекаемых запасов нефти и газа увеличивается. Она составляет в странах СНГ до 60%, в США до 70% [1-3]. Запасы остаточной нефти и газа огромны. Для повышения нефтеотдачи используются различные высокоэффективные методы: горизонтальное бурение скважин; многостадийный гидроразрыв пласта (МГРП); проппанты (расклинователи) для поддержания пропускной способности трещин; полимерные растворы для снижения вязкости нефти; обратная закачка в пласт попутного газа и воды для поддержания пластового давления и другие. Все они значительно повышают эффективность добычи трудноизвлекаемых запасов нефти и газа [4-6].

Среди этих методов особое место занимает использование проппантов, полученных на основе минерального природного сырья.

Количество трудноизвлекаемых запасов нефти и газа с годами становится все больше и, соответственно, потребность в проппантах возрастает при МГРП. Добыча сланцевой нефти и газа в мире набирает обороты. Мировыми лидерами в производстве нефти и газа в настоящее время являются США и РФ.

В США в течение продолжительного времени в качестве проппантов используется белый песок. Однако, его запасы истощаются. В РФ и КНР используются керамические проппанты. Потребность в них постоянно увеличивается. Эти проппанты применяются в горизонтальных скважинах при МГРП на глубине от 2500 до 3500 м. Для более глубоких скважин от 3500 до 5000 м требуются высокопрочные проппанты. При проведении МГРП на глубине от 2500 до 5000 м могут применяться мобильные проппанты [7,8].

В настоящее время производство проппантов для многих нефтедобывающих стран является первостепенной задачей. Природное сырье, необходимое для производства проппантов, имеется в достаточном количестве и в Казахстане. Однако его физико-механические, химические свойства, фазовый состав, электронное состояние и сверхтонкая структура до конца не изучены. Данная работа посвящена исследованию отдельных составляющих компонентов минерального сырья, используемого для получения широкого спектра мобильных проппантов.

**Материалы и методы исследований.** Контроль эффективности добычи трудноизвлекаемых запасов нефти и газа осуществляется с использованием трассеров, состоящими из субатомных микро-и наночастиц, флуоресцентных неорганических соединений, меченных радиоактивных изотопов, химических соединений, и других технологий. Для идентификации состава трассеров и их структуры используются различные атомно-спектроскопические и ядерно-физические методы исследования, а также методы химического и флуоресцентного анализов.

Применение меченных радиоактивных частиц различных изотопов в качестве трассеров для контроля эффективности добычи трудноизвлекаемых запасов нефти и газа запрещено контролирующими органами в связи вероятностью попадания их в источники подземных вод.

Коэффициент извлечения нефти (КИН), который характеризует объем добываемой нефти из имеющихся месторождений, составляет в СНГ 0,37 - 0,4, а в США – 0,33 [9].

Извлечение трудноизвлекаемых запасов нефти и газа в последние годы нарастающими темпами проводится современными методами увеличения нефтеотдачи (МУН) путем горизонтального бурения скважин, многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП) с использованием проппантов для поддержания проводящих каналов, а также другими технологиями. Количество стадий при МГРП на скважину составляет до ста и более. Для контроля эффективности каждой стадии используются высокоэффективные трассеры. В последние годы в качестве трассеров начали применяться субатомные интеллектуальные микро-и нано частицы [10, 11].

Идентификация трассеров осуществляется как по их линейным размерам, так и по элементному составу лазерно-интерференционными и ядерно-физическими методами, в том числе и атомно-спектроскопическими.

В первом случае используются лазерные интерферометры и растровая электронная микроскопия, во втором случае ядерный гамма резонанс (эффект Мессбауэра), рентгенофлуоресцентный, рентгенодифракционный анализы и электронная просвечивающая микроскопия. В комплексе эти высокоточные методы анализа позволяют идентифицировать трассеры и получать богатую информацию об их структуре, качественном и количественном составе из каждой стадии скважины; а также о перетоках между соседними горизонтальными скважинами при проведении МГРП и ГРП. Применение трассеров в нагнетательных скважинах позволяет устанавливать перетоки между соседними скважинами в нефтяных пластах.

Проппанты представляют собой прочные сферические гранулы, удерживающие трещины ГРП от смыкания. Под большим давлением в скважину закачиваются проппанты с водой, что обеспечивает необходимую производительность нефтяных и газовых скважин путем создания в пласте проводящего канала. При этом ключевыми факторами являются давление сжатия, прочность породы и свойства используемого проппанта. Свойства определяются составом отдельных компонентов проппантов и технологией их изготовления [12].

В качестве проппантов предлагается использование отечественного минерального сырья Казахстана на основе белой (каолина) и красной глины, боксита, оксида алюминия (корунда), а также летучей золы тепловых электрических станций (ТЭС) [13].



В данной работе подробно исследованы элементный состав и сверхтонкая структура образцов бокситов, разрабатываемых в качестве компонентов пропантов. Элементный состав образцов определялся с помощью рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), сверхтонкая структура эффекта Мессбауэрна ядрах изотопа  $^{57}\text{Fe}$ , фазовый состав – рентгенодифракционного анализа (РДА).

Образцы из минералов бокситов готовились по специальной технологии. Сначала они измельчались механически до определенной фракции, после этого доводились до мелкодисперсионного состояния. Для сепарации отдельных составляющих использовались набор вибросит и постоянные магниты.

Измерения спектров РФА, ЯГРС и РДА проводились при комнатной температуре на стандартных установках РЛП-21, МС1104 Em, дифрактометре D8Advance. Структурное состояние регистрировали на дифрактометре с медным излучателем и графитовым отражателем в геометрии Брэгга-Брентано. Мессбауэровские исследования проводились в геометрии на пропускание. Источником  $\gamma$ -квантов служил  $^{57}\text{Co}$  в матрице хрома. Энергетическое разрешение сверхтонкой структуры ядерного гамма резонанса (ЯГР) на ядрах  $^{57}\text{Fe}$  составляет  $10^{-13}\text{эВ}$ . Определение элементного состава порошковых проб выполняли на рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном спектрометре с полупроводниковым детектором РЛП-21. Работы проведены по разработанной методике указанных месторождений. РФА спектрометр позволяет определить концентрацию содержащих элементов в образцах в пределах до  $10^{-6}\text{ат\%}$ . Совместное применение указанных методов исследования, имеющих высокое разрешение, позволяет оценить качество исходных образцов пропантов.

**Результаты и обсуждение.** В данной статье приводятся результаты исследования бокситов Айетского и Красногорского месторождений Краснооктябрьского рудного Управления методами РДА, ЯГРС и РФА. На *рисунках 1 и 2* представлены их рентгеновские дифрактограммы. Элементный состав бокситов Айетского и Красногорского месторождений, полученный с помощью РФА, представлен (мкг/г и в %) в *таблице 1*.

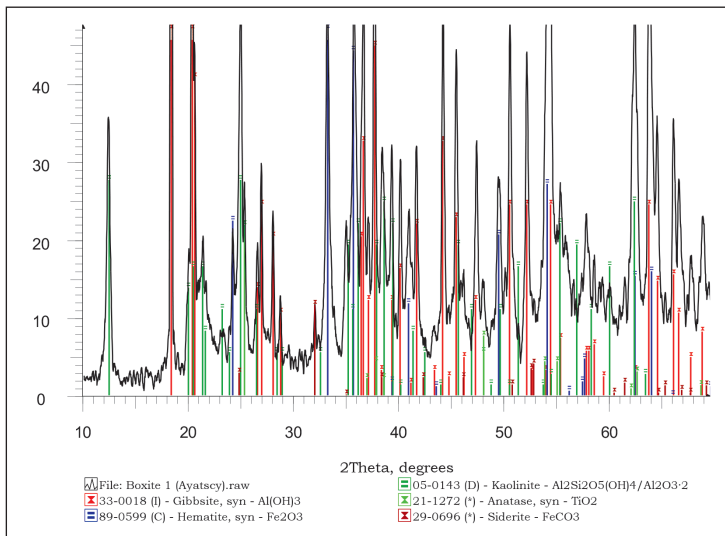


Рисунок 1 – Рентгеновская дифрактограмма боксита Айетского месторождения

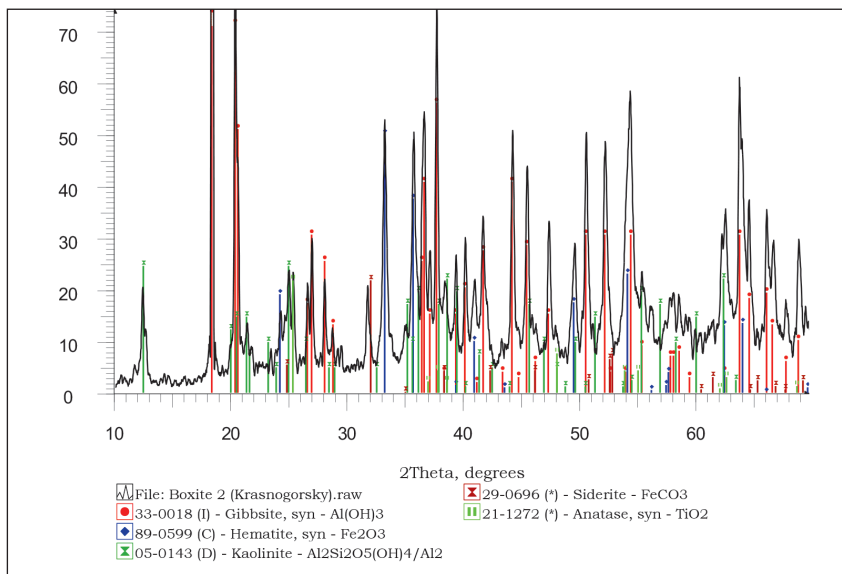


Рисунок 2 – Рентгеновская дифрактограммабоксита Красногорского месторождения

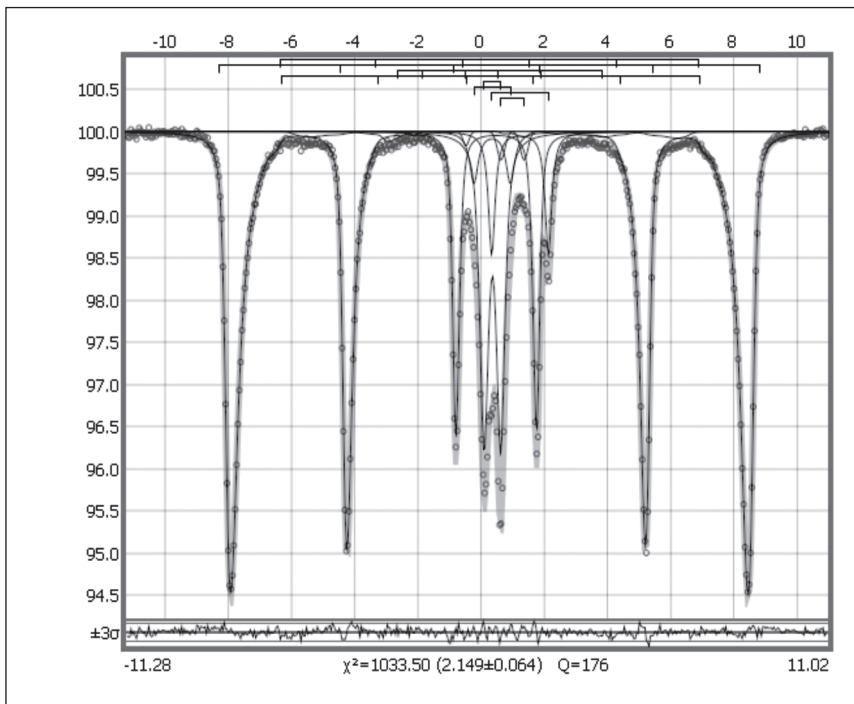
Таблица 1 – Элементный состав бокситов

Элементы	Единица измерения	Месторождение	
		Айетский боксит	Красногорский боксит
Cu	мкг/г	146±23	100±23
Zn	мкг/г	68.1±13	68.4±13
Pb	мкг/г	<1	<1
Mo	мкг/г	5.1±2.7	4±1.4
Th	мкг/г	10.2±4.4	7.8
U	мкг/г	<1	1
K	%	0.038	0.031
Ca	%	0.19±0.040	0.47±0.083
Ti	%	1.63±0.081	1.54±0.081
V	мкг/г	430±48	330±48
Cr	мкг/г	137±23	56
Mn	мкг/г	639±100	1650±200
Fe	%	12.6±0.45	14.3±0.45
Ni	мкг/г	34±8.3	29±8.3
Ga	мкг/г	44.4±8.3	44.1±8.3
As	мкг/г	3.8	13.8±4.4
Br	мкг/г	2	40.4±8.3
Rb	мкг/г	<1	<1
Sr	мкг/г	33.1±8.3	42.6±8.3
Y	мкг/г	11.7±4.4	10.1±4.4
Zr	мкг/г	324±48	279±48
Nb	мкг/г	15.5±4.4	13.6±4.4
Al	%	20.33±0.60	20.41±0.60
Si	%	7.33±0.48	5.22±0.48

На *рисунках 3 и 4* представлены мессбауэровские спектры образцов боксита, полученные методом ядерной гамма резонансной спектроскопии. В *таблице 2* показаны сверхтонкие параметры мессбауэровских спектров этих бокситов.

Как видно, мессбауэровские спектры бокситов состоят из магнитных и парамагнитных составляющих. Магнитная часть представлена двумя секстетам: гематитом и гетитом. Меньшее сверхтонкое магнитное поле гематита в сравнении с полем эталонного  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  объясняется присутствием в кристаллической решетке гематита примеси алюминия, понижающей эффективное значение напряженности сверхтонких магнитных полей на ядрах железа. Парамагнитная часть бокситов представлена 5 дублетами, три из которых порождены каолинитом. Четвертый дублет соответствует карбонату железа – сидериту  $\text{FeCO}_3$ , пятый – ильмениту  $\text{FeOTiO}_2$ .

Рентгенофлуоресцентные и мессбауэровские исследования образцов бокситов показали, что в образцах кроме  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  присутствуют более 20-ти химических элементов и оксиды ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ). Они относятся к природным минералам руды на основе оксидов алюминия.



*Рисунок 3 – Мессбауэровский спектр боксита Айетского месторождения*



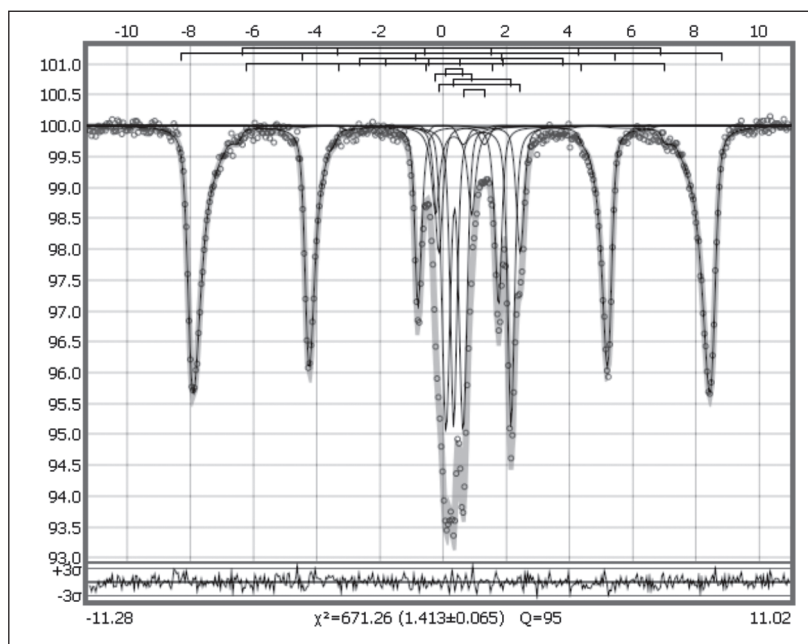


Рисунок 4 – Мессбауэровский спектр боксита Красногорского месторождения

Таблица 2 – Сверхтонкие параметры мессбауэровских спектров бокситов


Месторождение	Минерал	I, %	$\delta$ , мм/с	$\epsilon$ , мм/с	$H_{эфф}$ , кЭ	$\Gamma$ , мм/с	
Айетское	Гематит	72.16	0.37	-0.11	510.7	0.22	
	Гетит	2.33	0.42	-0.04	364.0	0.22	
	Каолинит		15.92	0.36	0.26		0.32
			3.00	0.35	0.58		0.32
		Сидерит	5.60	1.23	0.90		0.25
		Ильменит	1.00	1.00	0.37		0.29
Красногорское	Гематит	54.12	0.37	-0.11	507.9	0.22	
	Гетит	1.35	0.42	-0.01	369.6	0.22	
	Каолинит		15.47	0.36	0.27		0.30
			5.88	0.34	0.57		0.30
			7.15	1.15	1.29		0.29
	Сидерит	15.0	1.24	0.91		0.26	
	Ильменит	1.07	0.97	0.33		0.37	
I – относительная площадь; $\delta$ – изомерный сдвиг; $\epsilon$ – квадрупольное смещение; $H_{эфф}$ – эффективное магнитное поле; $\Gamma$ – ширина линии на половине высоты.							

Основным составляющим бокситовой руды являются глинозем ( $Al_2O_3$ ) и кремнезем ( $SiO_2$ ). Их процент составляют от 28 до 80 %. Качество боксита определяется соотношением содержания  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ . Глинозем является основным сырьем для получения металлического алюминия. Кремнезем используется в производстве керамических изделий, а также в качестве строительного материала.

**Выводы.** Бокситы в зависимости от их физико-химических свойств применяются в различных областях промышленности. Применение боксита, как одного из составляющих компонентов пропантов, предложено в [14,15]. Получены патенты на состав и способ получения пропантов.

Мобильные пропанты, необходимые для производства нефти и газа при проведении МГРП и ГРП, должны обладать высокой прочностью, сферичностью, достаточной пропускной способностью и выдерживать большие механические нагрузки.

Таковыми свойствами должны обладать и отдельные компоненты пропантов. Бокситы отвечают этим свойствам. Бокситы не растворяются в воде. Содержание оксидов железа определяет плотность бокситов, которая составляет от 2900 до 3500 кг/м<sup>3</sup>. Плотность сильно влияет на твердость бокситов. Твердость бокситов от 2 до 7 по Шкале Мооса.

При выборе технологии изготовления пропантов будут учтены как физико-химические свойства, элементный состав, так и сверхтонкие структуры составляющих отдельных компонентов. 

*Статья подготовлена по проекту ИРН АР14869574 «Разработка мобильных пропантов на основе отечественного природного сырья и летучей золы для повышения эффективности гидроразрыва пласта».*

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Прищепа О.М., Аверьянова О.Ю., Ильинский А.А., Морариу Д. Нефть и газ низкопроницаемых сланцевых толщ - резерв сырьевой базы углеводородов России. – СПб.: ФГУП «ВНИГРИ», 2014, - 323 с. [Prishchepa O.M., Aver'yanova O.YU., Il'inskiy A.A., Morariu D. Neft' i gaz nizkopronicaemyh slancevyh tolshch - rezerv syr'evoy bazy uglevodorodov Rossii. – SPb.: FGUP «VNIGRI», 2014, - 323 s.]
- 2 Огнева А.С., Фёдоров А.Э., Антонов М.С., Смолянец Е.Ф., Сергейчев А.В. Эволюция развития технологий разработки трудноизвлекаемых запасов нефти США // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18, № 2. – С. 24-37. DOI: 10.17122/ngdelo-2020-2-24-37 [Ogneva A.S., Fyodorov A.E., Antonov M.S., Smolyanec E.F., Sergejchev A.V. Evolyuciya razvitiya tekhnologij razrabotki trudnoizvlekaemyh zapasov nefti SSHA // Neftegazovoe delo. – 2020. – Т. 18, № 2. – С. 24-37. DOI: 10.17122/ngdelo-2020-2-24-37]
- 3 Надиров Н.К. Высоковязкие нефти и природные битумы. История. Бассейны. Свойства. - Алматы: Ғылым. - 2001 - Т.1. – 256 с. [Nadirov N.K. Vysokovyazkie nefti i prirodnye bitумы. Istoriya. Bassejny. Svoystva. - Almaty: Fylym. - 2001 - Т.1. – 256 s.]
- 4 Юрченко А.А., Горлова З.А. Об использовании отечественных кварцевых песков для интенсификации добычи нефти из низкопроницаемых пластов методом гидравлического разрыва пласта // Нефтепромысловое дело. – 1998. – №12. – С. 5-8. [Yurchenko A.A., Gorlova Z.A. Ob ispol'zovanii otechestvennyh kvarcevyh peskov dlya intensifikacii dobychi nefti iz nizkopronicaemyh plastov metodom gidravlicheskogo razryva plasta // Neftepromyslovoe delo. – 1998. – №12. – С. 5-8.]
- 5 Кудряшов С.И. Гидроразрыв пласта как способ разработки низкопроницаемых коллекторов // Нефтяное хозяйство. – 2005. – №3. – С. 80 [Kudryashov S.I. Gidrorazryv plasta kak sposob razrabotki nizkopronicaemyh kollektorov // Neftyanoe hozyajstvo. – 2005. – №3. – С. 80]
- 6 Шоканов А.К., Қырықбаева Ә.А., Сулейменов Б.Т. Мессбауэровские и рентгенофлуоресцентные исследования пропантов на основе летучей золы // Нефть и газ. – 2022.

- №6. – С.74-83. [Shokanov A.K., Қурықбаева Ә.А., Sulejmenov B.T. Messbauerovskie i rentgenofluorescentnyye issledovaniya proppantov na osnove letuchej zoly // Neft' i gaz. – 2022. –№6. – С.74-83.]
- 7 Ярмонов А.Н. Исследование возможности использования глиноземистого цемента в производстве пропантов для гидроразрыва пласта // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2018. – Т. 20. –№ 4. – С. 95–107. DOI: 10.15593/2224-9877/2018.4.12 [Yarmonov A.N. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya glinozemistogo cementa v proizvodstve proppantov dlya gidrorazryva plasta // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie. – 2018. – Т. 20. –№ 4. – С. 95–107. DOI: 10.15593/2224-9877/2018.4.12]
  - 8 Девяшина Л.П. Алюмосиликатные керамические пропанты на основе глиносо-держающего сырья. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн.их наук. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2017. – С. 191. [Devyashina L.P. Alyumosilikatnye keramicheskie propanty na osnove glinosoderzhashchego syr'ya. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kand. tekhn. ih nauk. Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet. – 2017. – С. 191.]
  - 9 Решетова А.А. Керамические пропанты на основе природного алюмосиликатного сырья: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.17.11. – Томск, 2009. – С. 20. [Reshetova A.A. Keramicheskie propanty na osnove prirodnogo alyumosilikatnogo syr'ya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.17.11. – Tomsk, 2009. – С. 20.]
  - 10 McDaniel, G. Changing the Shape of Fracturing: New Proppant Improves Fracture Conductivity // Proceedings–SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – 2010. – V.6. – P. 4764-4784.
  - 11 ГОСТ Р 51761 – 2013. Пропанты алюмосиликатные. Технические условия. – Взамен ГОСТ Р 51761 – 2005; введ. 2014 – 06 –01. – М.: Стандартиформ, 2014. – С. 25. [GOST R 51761 – 2013. Propanty alyumosilikatnye. Tekhnicheskie usloviya. – Vzamen GOST R 51761 – 2005; vved. 2014 – 06 –01. – М.: Standartinform, 2014. – С. 25.]
  - 12 Propping Agents in hydraulic fracturing // ROGTEC Russian oil & gas technologies, ISSUE 6 173. – 2018. – URL: [http://www.rogtecmagazine.com/PDF/Issue\\_006/10.pdf](http://www.rogtecmagazine.com/PDF/Issue_006/10.pdf).
  - 13 Вахрушев А.В., Лютоев В.П. Кристаллохимические особенности железистых минералов в бокситах вежайо-ворыквинского месторождения // Вестник института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2012. – №10. – С. 68-79. [Vahrushev A.V., Lyutov V.P. Kristalohimicheskie osobennosti zhelezistykh mineralov v boksitah vezhayu-vorykvinskogo mestorozhdeniya // Vestnik instituta geologii Komi NC UrO RAN. – 2012. – №10. – С. 68-79.]
  - 14 Инновационный патент № 4240 KZ. Способ получения пропантанта / Шоканов А.К., Смихан Е.А. Опубл.18.03.2019 г. [Innovacionnyj patent № 4240 KZ. Sposob polucheniya proppanta / Shokanov A.K., Smihan E.A. Opubl.18.03.2019 g.]
  - 15 Инновационный патент № 5491 KZ. Состав для получения пропантанта / Шоканов А.К., Смихан Е.А. Опубл. 25.06.2020 г. [Innovacionnyj patent № 5491 KZ. Sostav dlya polucheniya proppanta / Shokanov A.K., Smihan E.A. Opubl. 25.06.2020 g.]