



DOI 10.22363/2312-8143-2017-18-4-480-496

УДК 553.6.078

## УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГАЗАХСКОГО ПРОГИБА МАЛОГО КАВКАЗА

С.К. Расулова<sup>1</sup>, В.М. Баба-заде<sup>1</sup>, П.Е. Белоусов<sup>2</sup>, М.Н. Мамедов<sup>1</sup>,  
Н.А. Имамвердиев<sup>1</sup>, В.М. Керимов<sup>3</sup>, И.В. Викентьев<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Бакинский государственный университет

*Республика Азербайджан*

<sup>2</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии  
Российской академии наук

*Старомонетный пер., д. 35, Москва, Россия, 119017*

<sup>3</sup> Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

*Республика Азербайджан*

<sup>4</sup> Инженерная академия

Российский Университет Дружбы Народов

*ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198*

В статье рассматриваются закономерности образования и размещения цеолитсодержащих отложений Газахского прогиба Малого Кавказа. Айдагское месторождение расположено в Таузском районе Азербайджана, в 7-ми км от города Тауз. Продуктивная толща Айдагского месторождения природных цеолитизированных пепловых туфов в совокупности с теми же характеристиками вмещающих пород относится к сложным месторождениям с относительно неоднородной по составу и строению полезной толщей. Детально изучен минеральный и химический состав цеолитсодержащих пород Айдагского месторождения и выявлено, что отличительной особенностью этого месторождения является высокое содержание клиноптилолита. Показано, что в цеолитовых месторождениях Газахского прогиба содержание клиноптилолита или морденита по данным дифрактометрического фазового анализа достигает 70–80%, а иногда 90% и более. Пористость этих пород независимо от стратиграфического уровня нахождения равна 15–20%, а иногда и более. Выяснено, что крупные залежи высококремнистых цеолитов Лок-Карабахской зоны относятся главным образом к гидротермально-эпигенетическому генетическому типу, возникшему после воздымания вмещающих толщ, а исходным материалом для образования цеолитов, как правило, служит вулканическое стекло кислого, среднего, редко основного состава, содержащееся в туфах.

**Ключевые слова:** цеолитсодержащие отложения, клиноптилолит, бентонит, гидротермально-эпигенетический тип, Газахский прогиб, Малый Кавказ, Айдагское месторождение

### Введение

Многочисленные исследования последних трех десятилетий показали, что цеолитсодержащие породы весьма широко распространены в туфогенно-осадочных образованиях Закавказья, России, Венгрии, Болгарии, Франции, Италии, США, Кубы, Японии и многих других стран. При этом почти повсеместно установлено, что цеолитизация этих пород носит региональный характер. Интерес к

изучению цеолитосодержащих пород резко возрос в последние годы, что связано, в первую очередь, со сложной экологической обстановкой на нашей планете, поскольку немалые надежды на экологическое оздоровление связаны с использованием природных цеолитов именно в этой области.

Кроме того, установлено, что из всего многообразия минералов группы цеолита наибольшим распространением пользуются его высококремнистые разновидности — клиноптилолит и морденит. При этом они являются наилучшими адсорбентами и находят наиболее широкое применение в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, причем с течением времени области их применения неизменно расширяются.

Промышленная ценность цеолитов определяется главным образом наличием у них уникальных ионно-молекулярно-ситовых и каталитических свойств, обусловленных кристаллохимическими особенностями цеолитов, их способностями к катионному обмену, поглощению и потере воды и других молекул без разрушения структурного каркаса. Это определяет природные цеолиты — клиноптилолит и морденит.

Возможность индустриального использования этого ценного минерального сырья, вместе с выгодным расположением рудного района Газахского прогиба с крупными месторождениями цеолитосодержащих туфов (Айдаг, Агдаг, Юхары Оксюзли, Татлы и др.) требует его комплексного изучения.

### **Материалы и методы**

*Фактический материал и методика исследований.* В основу данной статьи положены результаты полевых и лабораторных исследований авторов, изучавших позднемеловой вулканизм Газахского прогиба и связанные с ними месторождения высококремнистых цеолитов. Этими исследованиями охвачены почти все цеолитовые месторождения верхнемеловых вулканических комплексов Газахского прогиба. Для разрешения поставленных задач проведены около 50 химических анализов цеолитизированных туфов, а также использованы результаты проведенных геологических, геохимических, петрологических исследований в этом районе с привлечением фондовых и опубликованных материалов по собственным полевым наблюдениям составлены схематические геологические карты Айдагского, Юхары Оксюзлинского, Татлинского месторождений.

Определение содержаний породообразующих оксидов в породах выполнено рентгенофлуоресцентным методом на многоканальном X-Ray спектрометре СРМ-25 (Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана, г. Баку).

Дифракционные данные цеолитов получены при комнатной температуре на дифрактометре ДРОН-3 (CuK $\alpha$  — излучение, Ni-фильтр, 30 кВ, 20—26 мА, скорость движения счетчика 0,50  $\theta$ /мин.). Каждый образец изучался по 3 раза. В качестве внутреннего эталона использовали положение линии KBrO $_3$  ( $2\theta = 20, 2120$ ) и кварц ( $2\theta = 40, 2980; 50, 1460$ ). Точность определения  $\pm 1\%$ .

### **Результаты и их обсуждение**

Цеолитоносные образования широко распространены среди позднемеловых и кайнозойских геологических комплексов, в пределах Газахского, Агджакенско-

го, Ходжавенского прогибов, Вандамской зоне, Куринской межгорной впадине, Горном Талыше, Нахчыване, Кельбаджар, а также на территории Грузии.

Продуктивные цеолитоносные образования, как правило, залегают согласно слоистости вмещающих пород. Наблюдаемые пересечения вмещающих пород продуктивными слоями являются результатом конседиментационных подвижек. Ни более часто встречаются пластообразные тела или линзы различной мощности и размеров. Почти все контакты горизонтов резкие, и между цеолитоносными образованиями и вмещающей породой обычно гидротермальных преобразований не отмечается. Закономерности пространственного расположения месторождений связаны с особенностями тектонического строения Казахского прогиба. В краевых его частях развиты клиноптилолитовые и клиноптилолит-морденитовые месторождения — Айдаг, Кероглы, Агдаг, Юхары Оксюзлу, Татлы, Кямарлы, Гаймахлы. Рассмотрим эти месторождения на примере Айдагского месторождения — наиболее перспективного, и относительно хорошо изученного [1].

*Айдагское месторождение* расположено в Таузском районе Азербайджана, в 7-ми км от города Тауз. В тектоническом плане район этого месторождения приурочено к северо-западному крылу ассиметричной Кероглинской синклинали, имеющей северо-восточное простираие и расширяющейся к юго-западу. Это крыло имеет сложнопостроенный характер и осложнено многочисленными структурами более высокого порядка, а также значительным количеством продольных и поперечных разрывов преимущественно в виде взбросов, образующих множество локальных микроскладок, флексур и др.

На крыльях этой синклинали выступают породы крупных комплексов: эффузивно-пирокластического (верхняя юра) и вулканогенно-осадочного (верхний мел). Первый развит здесь не особенно широко, лишь к югу и юго-западу от Айдагского месторождения и представлен разнообразными эффузивами в виде потоков, лавобрекчий и др. Второй получил здесь широкое развитие.

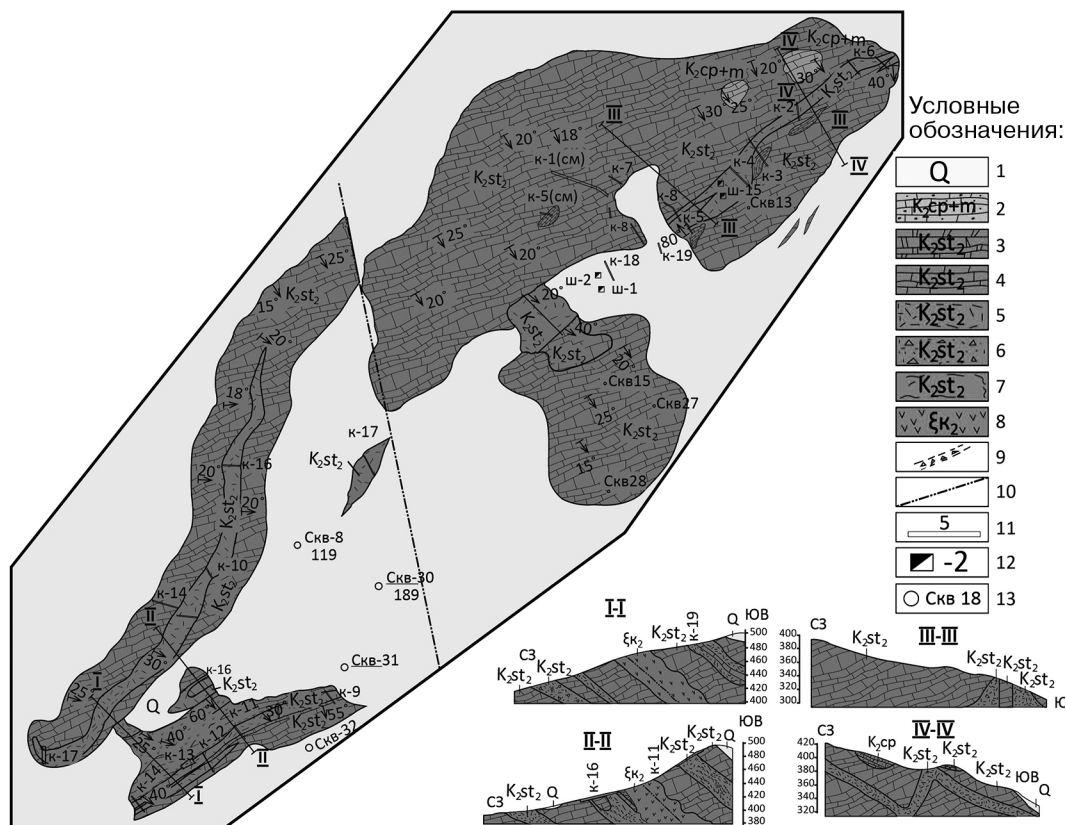
На породах отмеченного ранее эффузивно-пирокластического комплекса верхней юры с явным угловым, а зачастую и азимутальным несогласием залегают органогенно-обломочная формация сеномана, представленная здесь грубозернистыми песчанистыми известняками и известковистыми песчаниками. Мощность этого комплекса обычно в пределах 20—40 м.

На породы этого комплекса несогласно залегают породы осадочно — пирокластического комплекса коньяк-нижесантонского возраста с весьма пестрым фациальным составом. Здесь в разрезе встречаются разнообразные туфопесчаники, туффиты, туфоалевролиты, глины, песчаники, мергели, псаммитовые туфы, известняки и другие литологические разности. Мощность этого комплекса достигает 400 м.

Характерной особенностью следующего комплекса является повсеместное наличие в ее составе мощных голубовато-зеленых туфов, именуемых в литературе «трассами», в переслаивании с молодощными прослоями карбонатных пород, чаще мергелей и мергелистых известняков, реже массивно-слоистых пелитоморфных известняков. Мощность этого комплекса достигает 200—250 м.

Также несогласно на охарактеризованном комплексе залегают карбонатный комплекс кампан-маастрихтского возраста, представленный здесь как и в при-

границных районах, преимущественно известняковой фацией с подчиненными образованиями типа пепловых туфов, бентонитовых глин, туффитов и др. Зачастую в некоторых разрезах встречаются мергели и мергелистые известняки (рис. 1).



**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта Айдагского месторождения: 1 — четвертичные отложения: суглинки, супеси; 2 — кампанско-маастрихский ярус: известняки беловато-сероватого цвета, крупно-зернистые, песчанистые; 3—7 — верхнесантонский подъярус: 3 — красноцветные слабопесчанистые известняки, 4 — известняки мергелеподобные, пелитоморфные, сильно трещиноватые, 5 — цеолитосодержащие туфы, голубовато-серые, 6 — цеолитосодержащие туфы, сильно окремненные и брекчированные, 7 — цеолитосодержащие «трассы», голубоватые; 8 — верхний мел: диоритовые порфириты; 9 — гидротермально-измененные породы; 10 — разрывные нарушения; 11 — каналы и их номера; 12 — шурфы и их номера; 13 — скважины и их номера (Масштаб 1:2000)

[Fig. 1. Schematic geological map of the Aydag deposit (Scale 1:2000)]

Продуктивная толща Айдагского месторождения представлена преимущественно белесыми и бледноокрашенными в зеленые, голубовато-зеленые тона плотными тонко-мелкозернистыми, при макроскопическом осмотре, пепловыми туфами с редкими включениями мелких обломков. Такое сложение характерно для центральной части разведанного участка, однако на флангах иногда окраска пород приобретает желтоватый и кремовый оттенок, и в некоторых случаях туфы переходят в мелкообломочные разности и даже туфогравелиты.

Среди образцов, отобранных в центральной части месторождения и на его северо-восточном фланге преобладают пепловые туфы с характерной пепловой

структурой и небольшой примесью кварца, плагиоклаза, биотита, точечными включениями карбоната и хлорита и сильно измененные пепловые туфы с примесью карбонатного и каолинового материала доходящего до 10%, а в единичных случаях в пределах 30—40%. Кроме того, среди туфов отмечаются также псаммитовые кристалло-витрокластические разности с пепловой структурой, состоящие из обломков стекла.

По мере продвижения на юго-запад по простиранию этой толщи ее состав становится более многообразным: присутствуют псаммитовые литокластические-витрокластические и пепловые туфы кислого состава, и известковистые пепловые туффиты, и псаммитовые кристалло-литокластические туфы андезитового состава, псаммитовые кристалло-витрокластические туфы дацитов и другие разновидности.

Разнообразие вещественного состава толщи и наличие в ее составе тех или иных примесей, в частности карбонатов, сильно влияет на качественные показатели и содержание цеолитовой фазы. В тоже время, кремнистые примеси, практически не влияют на качественные показатели полезной толщи, в силу химической близости к туфам.

Как видно из всего ранее сказанного, по характеру геологического строения, морфологическим, структурно- и литолого-фациальным параметрам, продуктивная толща Айдагского месторождения природных цеолитизированных пепловых туфов в совокупности с теми же характеристиками вмещающих пород относится к сложным месторождениям с относительно неоднородной по составу и строению полезной толщей. К относительно простым, по сравнению с другими, относится центральная часть месторождения и примыкающие к ней участки.

Таким образом, стратиграфическая последовательность слагающих месторождение отложений представляется в следующем виде (рис. 2):

1) верхний коняк — туфоалевролиты, туфопесчаники, туфогравелиты темно-серых оттенков. Из-за задернованности определить мощность этих отложений не представляется возможным;

2) сантонский ярус — «трассы» голубоватых оттенков, известняки мергелеподобные; преобладают разности с голубоватыми оттенками, агломератовые туфы, туфогравелиты, средний пласт цеолитизированных туфов, мергелистые известняки белые, горизонт пепловых туфов (с маломощными прослоями бентонитизированных разностей), останки белых мергелистых известняков. Мощность 250—300 м;

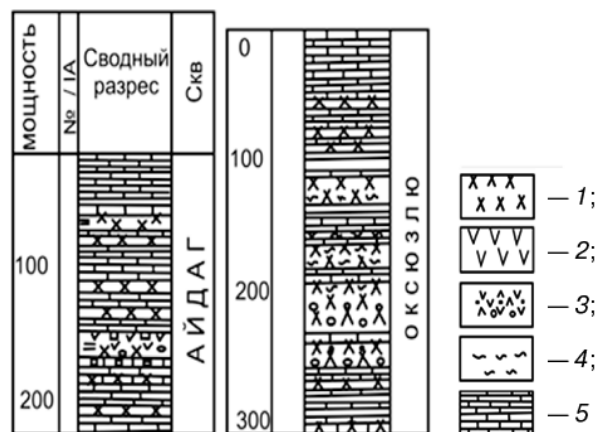
3) кампанский и маастрихский ярусы — тонкослоистые, сильно трещиноватые политоморфные известняки, разнотекстурированные песчаные преимущественно белого и серого цвета с коричневыми оттенками.

Цеолитовые породы расположены среди риолитовых и дацитовых разнообломочных туфов и покровов. На карьере главный клиноптилолитовый пласт подстилается биотитсодержащими туфами, в которых развиты гейландит, монтмориллонит, кварц и кристобалит. Примечательная особенность главного пласта заключается в однородной гранулометрии: размеры отдельных обрывков стекла не превышает 0,1 мм. Очевидно, с этим связаны высокие физико-химические показатели Айдагского клиноптилолита [2].

Выявлено, что тонкообломачные витрокластические туфы кислого состава превращаются в клиноптилолит почти полностью, более основного состава — в монтмориллонит, гейландит или анальцим. Эти процессы проявлены также в цементе туфопесчаников, туфоконгломератов и грубообломочных туфов. Широко распространена также гидрослюдизация. Светлые разности пород тяготеют к бентонитизированным и анальцимизированным разностям пород, зеленоватые же — к клиноптилолитизированным.

В туфах и покровах андезитов и базальтов, цеолитоносной толще широко распространены жеоды, гнезда, миндалины и прожилки цеолитов — натролита, мезолита, сколецита, томсонита, гейландита, шабазита, ломонтита и морденита с примесями гидрослюды, дистена, кальцита и монтмориллонита.

На Айдагском месторождении широко распространены цеолиты, кальцит, гидрослюды и монтмориллонит в известняках, которые перекрывают пласт клиноптилолитового туфа мощностью 5 м. Над клиноптилолитовым пластом расположен пласт пелитоморфного известняка мощностью 2 м, а над ним — желтовато-красные и коричневатые известняки с видимой мощностью до 10 м. В первом, наряду с прожилками кальцита, установлены прожилки кварца и цеолитов, а также гнезда кремнистого вещества. Эти гнезда, обычно имеющие форму куриного яйца, часто ориентированы вдоль напластования, реже дискорданты к напластованию. Крупные (более 5 см) включения вулканического стекла полностью цеолитизированы. С подобным пластом известняка перемежается пласт цеолитового туфа. Вся пачка рассекается трещинами меридионального простирания, вдоль которых развиваются кальцит и цеолиты.



**Рис. 2.** Сводный литологический разрез Айдагского и Оксюзлюнского месторождений:

1 — пеплы, пепловые туфы (клиноптилолитовые); 2 — пеплы мергелеподобные (кремнисто-анальцимовые); 3 — брекчиевые литокластические и кристалловитрокластические туфы; 4 — линзы и включения бентонитов; 5 — известняки органогенные пелитоморфные

**[Fig. 2.** Consolidated lithological cross section of the Aydag and Oksyuzlyu deposits: 1 — ash, ash tuff (clinoptilolithic); 2 — marl-like ash (siliceous-analcim); 3 — breccia lithoclastic and crystallo-vitro-clastic tuffs; 4 — lenses and inclusions of bentonite; 5 — organogenic pelitomorphous limestone]

В пробитых канавах вскрыты туфы с разной мощностью (от 12 до 35 м), «зажатые» между известняками. Содержание цеолита в туфах колеблется от 29 до 73%. Пробуренные скважины тоже вскрыли пласты цеолитсодержащих туфов с

мощностью от 21 до 43 м. Туфы представлены белыми, беловато-серыми, слабо лимонитизированы, бентонитизированы, карбонитизированы. В таких туфах цеолитизация весьма неравномерная — от 12 до 50—60%. В единичных случаях цеолитизация достигает 74%. При этом бентонитизированные, карбонитизированные разности туфов содержат незначительное количество цеолита, не превышающее значений в пределах 5—10%.

Авторами изучен клиноптилолит из этого месторождения, представляющий собой достаточно протяженные пластовые залежи цеолитизированных туфогенно-осадочных пород. Основными реликтовыми минералами являются кварц, полевые шпаты, вулканическое стекло и биотит. Кроме клиноптилолита, в качестве аутигенных минералов могут присутствовать небольшие количества других цеолитов и монтмориллонит. Встречаются также кальцит, серицит, хлорит, магнетит, пирит. Отличительная особенность этого месторождения состоит в высоком содержании клиноптилолита. По данным рентгеновской дифрактометрии, для средних проб его содержание составляет 76—80%. Кроме того, установлено присутствие кварца (14—16%), кальцита (2—2,5%), биотита и хлорита (2—3%) и прочих минералов (2—2,5%) [3]. Процессы, приводящие к цеолитизации туфогенно-осадочных толщ, носят региональный характер. Поэтому аутигенные месторождения клиноптилолита наиболее перспективны, в том числе и по благоприятным условиям залегания.

Макроскопически клиноптилолитовый туф характеризуется светлой, светло-серой и зеленовато-серой окраской. Клиноптилолитовые туфы имеют мелкозернистое и плотное строение. Под микроскопом наблюдается криптозернистое, игольчатое, чешуйчатое строение туфа клиноптилолита. Помимо последнего, как цементирующая масса, отмечаются бесформенные выделения кальцита, доломита. Наряду с ними нередко участвуют в различной степени девитрифицированные остатки буровато-серого стекла дацитового и риодацитового состава.

Помимо этого, в шлифах обнаружены угловатые обломки кварца (0,02—0,4 мм), таблички полевых шпатов (0,04 мм) и биотита (0,015—0,1 мм). Мелкие чешуйки хлорита иногда образуют обособленные скопления. В незначительных количествах встречаются гидроокись железа и скопления криптокристаллических карбонатов, образующих с цеолитами тонкие прорастания. По гранулометрическому составу клиноптилолитовые туфы представлены следующими фракциями: > 0,25 мм — 4,7—18,6%; 0,25 — 0,1 мм — 5—12,1%; < 0,1—0,01 мм — 46,8—64,2%; < 0,01 мм — 21,2—31,9% (табл. 1, анализы 1, 2). Результаты анализов показывают, что количество цеолитов в легкой фракции размерностью 0,1—0,01 мм колеблется от 75 до 95%, остальная часть фракции представлена алюмосиликатами, частично-измененными полевыми шпатами и карбонатами. В тяжелой фракции проб преобладают биотит и хлорит. В качестве акцессорных минералов обнаружены роговая обманка, целестин, циркон, ильменит, магнетит и единичные зерна турмалина, сфена, авгита, граната и пирита [4].

По данным М.Н. Мамедова [4] клиноптилолит в Айдагском месторождении находится в ассоциации с морденитом, гейландитом, натролитом, стильбитом, анальцимом и другими минералами в виде игольчатых и волокнистых скоплений.

Чаще всего он бесцветен. Скопления мелких (0,01—0,03 мм) кристаллов клиноптилолита образуют псевдоморфозы преимущественно по полевым шпатам. В цементирующей массе клиноптилолит развивается по полевому шпату и кварцу. В большинстве случаев наблюдаются реликты вулканического стекла. Для клиноптилолита из Айдагского месторождения определены показатели преломления  $N_g = 1,480—1,483$ ;  $N_p = 1,478—1,481$ . Ассоциирующий с ним гейландит характеризуется несколько большими показателями преломления:  $N_g = 1,501$ ;  $N_p = 1,497$ .

Изучение химического состава клиноптилолитовых и клиноптилолит—морденитовых туфов (табл. 1, ан. 3—8) показало высокое содержание кремнезема, преобладание окисного железа над закисным, кальция над магнием, натрия над калием. Для всех месторождений Восточного участка Газахского прогиба (Айдаг, Агдаг, Кероглы и др.) характерны лишь незначительные колебания в содержании глинозема и других породообразующих компонентов. В целом, химический состав гиалокластитовых туфов, слагающих отдельные разрезы верхнего сантона и нижнего кампана, меняется с северо-запада на восток в сторону увеличения щелочности, железистости и уменьшения известковистости.

Таблица 1

**Химический состав клиноптилолитовых туфов Газахского прогиба (по Мамедову и др., 2005), %**  
**[Chemical composition of clinoptilolite tuffs of the Gazakh trough (according to Mamedov et al., 2005), %]**

Состав	Анализ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	65,95	64,66	67,50	68,25	69,74	67,84	63,00	67,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,13	11,17	10,63	10,50	11,13	11,13	9,97	10,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,22	1,26	0,30	0,11	0,24	0,24	0,40	0,36
FeO	0,07	0,05	0,07	0,05	—	—	—	—
MnO	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
MgO	0,99	1,09	0,32	0,75	0,87	0,54	1,12	0,65
CaO	3,63	3,70	8,15	6,68	5,68	6,91	9,82	7,29
Na <sub>2</sub> O	1,37	2,23	2,12	2,10	2,12	1,69	1,42	1,51
K <sub>2</sub> O	1,95	2,15	1,70	2,10	2,12	1,69	1,68	2,10
H <sub>2</sub> O + 110	8,26	8,74	7,06	8,56	8,08	9,24	12,16	9,05
H <sub>2</sub> O – 110	3,38	4,26	2,92	1,04	1,98	—	—	—
∑	98,97	99,32	100,72	100,01	99,98	99,30	99,59	99,18

Данные гранулометрического анализа, выполненные Н.Ф. Челищевым [5], послужили поводом для детального изучения наиболее мелких фракций клиноптилолитовых туфов. Определены показатели преломления микрочешуйчатого агрегата клиноптилолита ( $N = 1,480$ ) и посчитано количество минералов: клиноптилолит — 76—80%, кварц — 16%, кальцит 2 — 2,5%.

В результате изучения химического состава (см. табл. 1, ан. 3) установлено, что Айдагский клиноптилолит относится к натриево-кальциевой разновидности с пониженным содержанием калия. Однако эти изменения не влияют на общую характеристику туфов и позволяют предположить их принадлежность к единой первичной магме дацитового и риодацитового состава.



В составе цеолитизированных туфов и «трассов» Газахского прогиба по результатам спектрального анализа установлены (г/т): стронций — 210, барий — 200, титан — 400, церий — 80, цинк — 200, свинец — 200. Перечисленные элементы могут как изоморфно входить в состав кристаллокластов, так и быть рассеянными в цементирующей массе.

*Минералогия высококремнистых цеолитов.* Ранее было показано, что в цеолитовых месторождениях Газахского прогиба содержание клиноптилолита или морденита по данным дифрактометрического фазового анализа достигает 70—80%, а иногда 90% и более.

Большое разнообразие цеолитов в Айдагском месторождении коррелируется с разнообразием состава исходных толщ: над кислыми туфами преобладают туфы андезитового и андезито-дацитового состава. Среди реликтовых минералов кварц — редок (табл. 2). Цеолиты с высоким содержанием клиноптилолита и морденита формируются исключительно за счет тонкообломочных, преимущественно кислых туфов с низким содержанием кристаллокластического материала. Кристаллокласты также затронуты цеолитизацией, но они значительно более стойкие чем стекло. По степени стойкости кристаллокласты цеолитизированных туфов можно расположить в следующий ряд: кварц-пироксен-плагиоклаз-биотит-роговая обманка. Последняя разлагается легче, чем другие минералы, но значительно труднее, чем стекло.

Клиноптилолит представляет собой прозрачные кристаллы размером 0,03—0,5 мм, псевдоромбического облика, с совершенной спайностью по (010) и ярким алмазным блеском. На порошковых дифрактограммах клиноптилолит характеризуется дифракционными эффектами, с межплоскостными расстояниями (9,0—9,1 Å, 3,96—3,97 Å, 2,97—2,98 Å и ряд более слабых). На дифрактограммах интенсивные рефлексы  $d = 8,9—8,98; 3,95; 3,4$  и  $2,96—2,97$  Å, а также ряд других слабых отражений  $d = 7,8—7,91; 6,66—6,68; 5,2—5,28; 5,09—5,1; 4,63—4,65; 3,16—3,21$  и  $2,78—2,79$  Å позволяют диагностировать основную массу как клиноптилолит (рис. 3).

Помимо рентгеновской дифракции, клиноптилолит диагностируется и по термическим кривым.

Морденит. В отличие от клиноптилолита природный морденит четко определяется рентгенометрическим анализом. Под микроскопом строение морденита представлено спутанно-волоконистыми или радиально-лучистыми агрегатами тончайших игловидных кристаллов с низким двупреломлением. Погасание прямое, удлинение отрицательное. Морденит образуется по вулканическому стеклу, замещая как обломки стекла, так и стекло цементирующей основной массы.

На дифрактограммах интенсивные рефлексы  $d = 9,04—9,16; 6,59—6,63; 4,49; 3,98; 3,47; 3,35; 3,20—3,22$  Å позволяют диагностировать морденит (рис. 4).

В отличие от клиноптилолитовых пород, в которых наряду с кварцем нередко присутствуют кристобалит, в морденитовых породах устанавливается только кварц. Морденитовые породы под микроскопом неотличимы от клиноптилолитовых.

Таблица 2

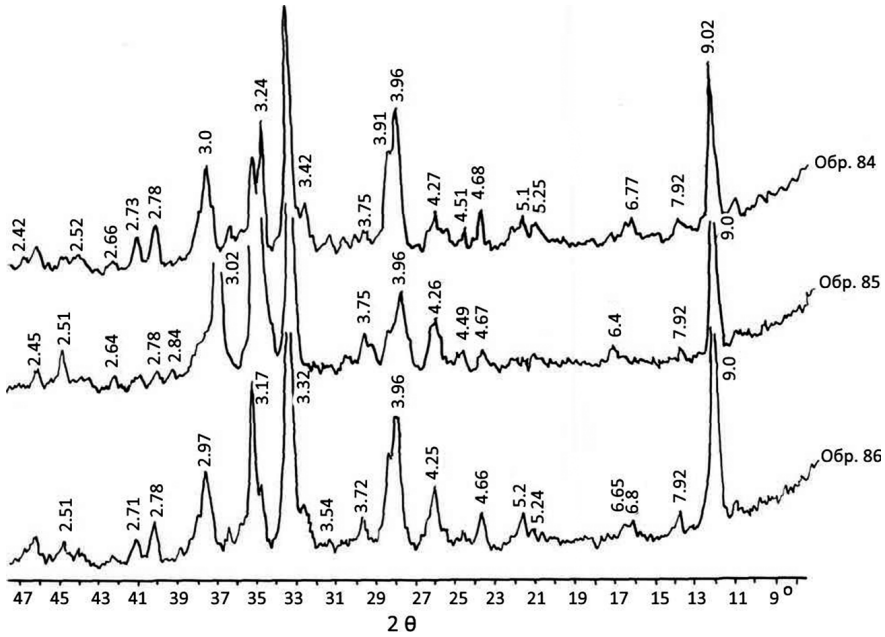
**Некоторые минералого-петрографические особенности цеолититов и породобразующих цеолитов Айдагского месторождения**

Цеолиты и форма их находений	Мощность, м	Si/Al	Ca + Mg/K + Na	Сопутствующие минералы	
				Реликтовые (магматические и терригенные)	Аутигенные
Клиноптилолит + гейландит. Псевдоморфозы по обломкам стекла и кристаллокластам, скрытокристаллические агрегаты, заполнение пор	20—25 иногда не более 10	От 4,41 до 5,14	От 0,61 до 1,84	Плагиоклаз, кварц, биотит, рутит, циркон, апатит	Монтмориллонит, гидрослюда, вите-рит, пиролюзит, родохрозит, кристобалит, кальцит, кварц, халцедон, сульфиды, самородные металлы

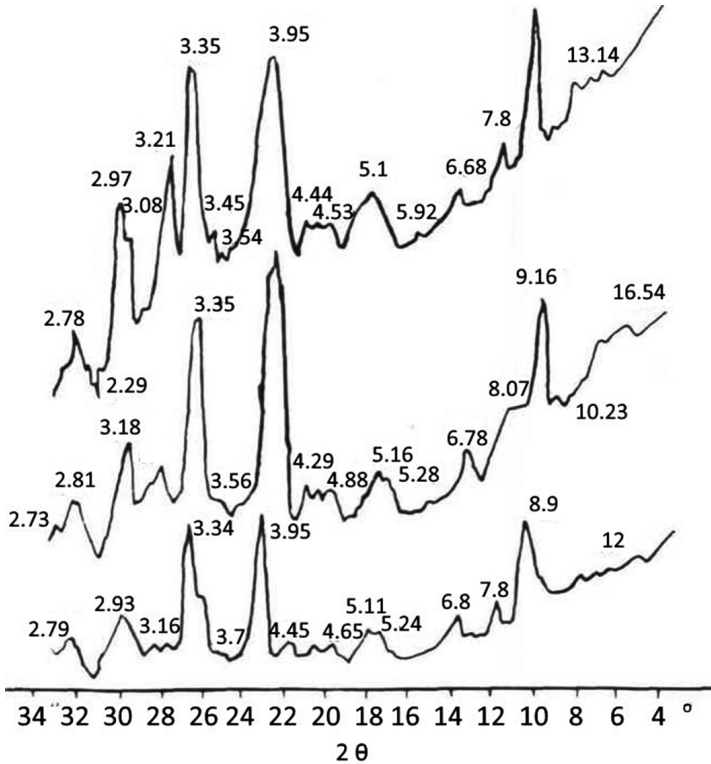
Table 2

**Some mineralogical and petrographic features of zeolites and rock-forming zeolites of the Aydag deposit**

Zeolites and the form of their finding	Thickness, m	Si/Al	Ca + Mg/K + Na	Related minerals	
				Relics (magmatic and terrigenous)	Authigenic mineral
Clinoptilolite + heulandite. Pseudomorphs along fragments of glass and crystal-clasts, cryptocrystalline aggregates, pore filling	20—25 sometimes not more than 10	from 4,41 to 5,14	from 0,61 to 1,84	Plagioclase, quartz, biotite, rutile, zircon, apatite	Montmorillonite, hydromica, vitilit, pyrolusite, rhodospere, crystobalite, calcite, quartz, chalcedony, sulfides, native metals



**Рис. 3.** Дифрактограмма цеолитизированных «трассов» месторождения Айдаг  
 [Fig. 3. Diffractogram of zeolitized trass from the Aydag deposit]



**Рис. 4.** Дифрактограммы морденита с клиноптилолитом в витрокластических туфах  
 [Fig. 4. Diffractograms of mordenite with clinoptilolite in vitroclastic tuffs]

*Закономерности образования и размещения цеолитсодержащих отложений Газахского прогиба.* Из анализа приведенных ранее материалов следует, что формирование месторождений цеолитов определяется в основном составом исходного материала, фациальными условиями его отложения и характером катагенетических преобразований вмещающих их пород. Исходным материалом для образования цеолитов, как правило, служит вулканическое стекло кислого, среднего, редко основного состава, содержащееся в туфах [6].

По всему сантон-кампан-маастрихскому разрезу Лок-Карабахского цеолитоносного района присутствует кислый пирокластический материал. Так, в изученном разрезе Айдагского месторождение насчитывается более 10-ти прослоев туфов и туффитов суммарной мощностью свыше 200 м. Эти мощные туфовые горизонты преобразованы в цеолитовые породы. В других месторождениях и проявлениях Лок-Карабахской зоны (Юхары Оксюзлу, Татлы, Кемерли, Дзегви-Тедзами, Ноембрян и др.) тоже отмечаются цеолитоносные туфы кислого состава [7].

Представленные сведения, позволяют заключить, что крупные залежи высококремнистых цеолитов Лок-Карабахской зоны относятся главным образом к гидротермально-эпигенетическому генетическому типу, возникшему после вздымания вмещающих толщ. Вулканические процессы происходили на фоне карбонатакопления, это обусловило наблюдаемую картину переслаивания туфов с различными по мощности известняками и мергелями в разрезах позднего сантона Газахского прогиба. Выброшенный и изливающийся пирокластический материал попадал в морской бассейн с заметно повышенной в определенном радиусе от центра извержения температурой воды с повышенной щелочностью (рН~10), играющей роль своего рода гидротерм и ускоряющей процесс диагенеза вулканического стекла.

Образование высококремнистых цеолитов при диагенетическом (гальмиролитическом) преобразовании осадков, видимо, требует специфических условий, по всей вероятности, редко достигаемых в природе.

Пространственное тяготение высококремнистых цеолитов к бентонитам, кремнисто-марганцевым и агатовым залежам, устанавливаемое на месторождениях Закавказья, характерно для многих других цеолитоносных регионов и, по всей вероятности, неслучайны. Все они практически постоянно содержат опал или кристобалит — индикаторы среды, пересыщенной кремнеземом относительно кварца. Пространственная сближенность при общности геохимического фактора отражает их генетическую связь. Гидротермальное происхождение кремнисто-марганцевых, агатовых и многих бентонитовых залежей считается твердо установленным. Если это так, то и высококремнистые цеолиты должны быть отнесены к гидротермально-метасоматическим образованиям. Предположение о временной разобщенности высококремнистых цеолитов и бентонитов, согласно которому первые являются диагенетическими, а вторые — гидротермальными образованиями, не может быть принято, поскольку пласты клиноптилолитизированных (морденитизированных) и монтмориллонитизированных туфов чередуются в разрезе, замещают друг друга по латерали или слагают единые залежи цеолито-бентонитов при отсутствии каких-либо признаков наложения.

Действительно, как отмечено ранее, в верхнесантонских туфах Казахского прогиба преобладающие цеолиты (55—90%) — клиноптилолит и морденит. Морденит, как более обогащенный кремнеземом цеолит чем клиноптилолит, образуется за счет более кислых пирокластов риолитового состава. Обращает на себя внимание тот факт, что морденитовые породы в основном развиты в пределах северо-западного блока Казахского прогиба. Характерна тесная ассоциация морденита с клиноптилолитом. Для восточного блока характерны клиноптилолит и анальцит. Следует отметить, что для центрального блока характерны высококремнистые цеолиты и развиты натролит, сколецит, шабазит, анальцит. Частое нахождение морденита и клиноптилолита в одних и тех же породах доказывает, что условия их образования перекрываются, но тем не менее морденитовые породы в отличие от клиноптилолитовых часто тяготеют к контактам субвулканических тел риолитов и разрывным нарушениям, залегают среди плотных известняков и вблизи лавовых потоков и грубых туфов. Все эти особенности можно объяснить высокотемпературностью морденита по сравнению с клиноптилолитом. Нельзя не отметить и тот факт, что вулканогенно-осадочные породы верхнего сантона в пределах центрального блока (Дашсалахлы, Али-Байрамлы) интенсивно монтмориллонитизированы, а в пределах северо-западного (Ноемберян, Кохб, Каймахлы) — цеолитизированы и в меньшей степени монтмориллонитизированы [8]. Такое различие авторы объясняют различным характером и продолжительностью поствулканических процессов, а также палеовулканическими особенностями седиментации туфового материала.

### **Заключение**

Таким образом, высококремнистые цеолититы верхнемеловых толщ Лок-Карабахской зоны должны быть отнесены к гидротермально-эпигенетическому типу. Пористость этих пород независимо от стратиграфического уровня нахождения равна 15—20%, а иногда и более. Такая аномально высокая пористость не характерна для пород, погружившихся на глубину нескольких километров и подвергшихся складчатости.

К выводу об эпигенетичности высококремнистой цеолитизации приводят также экспериментальные данные по устойчивости клиноптилолита. В искусственной морской воде в присутствии монтмориллонита и анальцита, обычных спутников высококремнистых цеолититов, за 30 суток обработки, клиноптилолит превращается в эти минералы при температуре 2000 °С [9].

#### **Финансирование:**

Работа выполнена при финансовой поддержке госзадания ИГЕМ РАН № 0136-2014-0004.

#### **Участие авторов:**

Расулова С.К. — изучение геологического строения месторождения, сбор и обработка фондовых и полевых материалов, написание текста статьи.

Баба-заде В.М. — интерпретация полученных материалов, общая корректировка статьи.

Белоусов П.Е. — работа с фондовой литературой, написание и правка статьи.

Мамедов М.Н. — изучение геологического строение месторождения, сбор и обработка полевых материалов, интерпретация полученных материалов, рентгено-фазовый, химический анализы.

Имамвердиев Н.А. — изучение геологического строение месторождения, сбор и обработка фондовых и полевых материалов, написание текста статьи.

Керимов В.М. — изучение геологического строение месторождения, сбор и обработка полевых материалов, рентгено-фазовый, химический анализы.

Викентьев И.В. — работа с фондовой литературой, написание и правка статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Абдуллаев Р.Н., Ализаде Х.А., Хейров М.Б.* Бентонитообразование и цеолитовая минерализация в меловых отложениях Малого Кавказа (Газахский прогиб). Петролого-минералогические особенности пород и технических камней. М.: Наука, 1979. С. 170—180.
- [2] *Кулиев А.И., Гамзаев О.Д.* Цеолиты / Геология СССР. Т. 47. Полезные ископаемые. М.: Недра, 1976. 105 с.
- [3] *Расулова С.К.* О некоторых закономерностях цеолитовой минерализации в поздне меловых вулканогенно-осадочных комплексах Газахского прогиба (Малый Кавказ) // Вестник Бакинского Университета, серия естественных наук. 2005. № 2. С. 92—99.
- [4] *Мамедов М.Н., Махмудов С.А., Панахи К.А., Абдуллаева Н.М.* Минералы цеолитовой группы Азербайджана. Баку: Nefta-Press, 2000. 161 с.
- [5] *Челищев Н.Ф., Беренштейн Б.Г., Володин В.Ф.* Цеолиты — новый тип минерального сырья. М.: Недра, 1987. 176 с.
- [6] *Михайлов А.С.* Месторождения высококремнистых цеолитов Закавказья // Советская геология. 1975. № 9. С. 70—78.
- [7] *Чхеидзе Р.Г.* Месторождения высококремнистых цеолитов Закавказья и геологические предпосылки их освоения: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Тбилиси, 1981. 25 с.
- [8] *Мамедова Н.В.* Структурно-фациальные особенности верхнемелового вулканизма Газахского прогиба и условия формирования месторождений неметаллических полезных ископаемых: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Баку, 1984. 25 с.
- [9] *Гогшвили В.Г.* Эпигенетическое происхождение стратиформных месторождений высококремнистых цеолитов (на примере Закавказья) / В сб.: Природные цеолиты. М.: Наука, 1980. С. 65—75.

© Расулова С.К., Баба-заде В.М., Белоусов П.Е., Мамедов М.Н., Имамвердиев Н.А., Керимов В.М., Викентьев И.В., 2017

### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 23 сентября 2017

Дата принятия к печати: 15 октября 2017

### Для цитирования:

Расулова С.К., Баба-заде В.М., Белоусов П.Е., Мамедов М.Н., Имамвердиев Н.А., Керимов В.М., Викентьев И.В. Условия образования цеолитовых месторождений Газахского прогиба Малого Кавказа // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: «Инженерные исследования»*. 2017. Т. 18. № 4. С. 480—496. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-480-496

### Сведения об авторах:

*Расулова Самая Камран кызы*, докторант кафедры полезных ископаемых Бакинского государственного университета. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: elshanrasulov@hotmail.com

*Баба-заде Васиф Мамед-Ага оглы*, доктор геолого-минералогических наук, академик, заведующий кафедрой полезных ископаемых Бакинского государственного университета. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: vbabazade1938@mail.ru

*Белоусов Петр Евгеньевич*, кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: pitbl@mail.ru

*Мамедов Муса Насиб оглы*, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры полезных ископаемых Бакинского государственного университета. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: musamamedov@rambler.ru

*Имамвердиев Назим Аждар оглы*, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры полезных ископаемых Бакинского государственного университета. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: inazim17@yahoo.com

*Керимов Вагиф Мирземехти оглы*, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры нефти и газа Азербайджанского университета нефти и промышленности. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: vagif\_kerimov@rambler.ru

*Викентьев Илья Владимирович*, доктор геолого-минералогических наук, профессор инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* геология, минералогия. *Контактная информация:* E-mail: ilyavikentev@rambler.ru

## **FORMATION OF ZEOLITE DEPOSITS OF GAZAKH DEPRESSION (LESSER CAUCASUS)**

**S.K. Rasulova<sup>1</sup>, V.M. Baba-zadeh<sup>1</sup>, P.E. Belousov<sup>2</sup>, M.N. Mamedov<sup>1</sup>,  
N.A. Imamverdiyev<sup>1</sup>, V.M. Kerimov<sup>3</sup>, I.V. Vikentiev<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Baku State University  
*Baku, Republic of Azerbaijan*

<sup>2</sup> Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry,  
Russian Academy of Science

*Старомонетный пер., 35, Moscow, Russia, 119017*

<sup>3</sup> Azerbaijan State Oil and Industrial University  
*Baku, Republic of Azerbaijan*

<sup>4</sup> Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

The paper deals with regularities of formation and location of zeolite-containing deposits of the Gazakh trough of the Lesser Caucasus. The Aydag deposit is located in the Tauz district of Azerbaijan, 7 km away from the Tauz city. The Aydag deposit productive stratum of natural zeolitized ash tuffs in combination with the same characteristics of the enclosing rocks can be classified as a complex deposit

with a relatively non-uniform composition and structure of the productive stratum. The mineral and chemical compositions of zeolite-bearing rocks of the Aydag deposit have been thoroughly studied. Special feature of this deposit is the high content of clinoptilolite. According to X-ray diffractometry and mineralogical analysis of average samples, its content is around 70—80%. The porosity of this rock is around 15—20%, or even more, and does not depend on the stratigraphic level. It was found that the high-silica zeolitites of the Upper Cretaceous strata of the Lok-Karabagh zone belong to the hydrothermal-epigenetic type, which formed after the uplift of the enclosing strata, and generally the resource material for the formation of zeolites used to be volcanic glass of acidic, medium, rarely basic composition, contained in tuffs.

**Key words:** zeolite-containing deposits, clinoptilolite, bentonite, hydrothermal-epigenetic type, Gazakh trough, Lesser Caucasus, Aydag deposit

## REFERENCES

- [1] Abdullaev R.N., Alizade H.A., Heyrov M.B. Bentonitoobrazovanie i ceolitovaja mineralizacija v melovyh otlozhenijah Malogo Kavkaza (Gazahskij progib). Petrologo-mineralogicheskie osobennosti porod i tehničkih kamnej [Bentonite formation and zeolite mineralization in the Cretaceous deposits of the Lesser Caucasus (Gazakh trough). Petrological and mineralogical features of rocks and technical stones]. M.: Nauka, 1979. P. 170—180. (in Russ.)
- [2] Kuliev A.I., Gamzayev O.D. Zeolites. Geology of the USSR. Vol. 47. Minerals. Moscow: Nedra, 1976. 105 p. (in Russ.)
- [3] Rasulova S.K. O nekotoryh zakonmernostjah ceolitovoj mineralizacii v pozdneemelovyh vulkanogenno-osadochnyh kompleksah Gazahskogo progiba (Malyj Kavkaz) [Some regularities about zeolite mineralization in the Late Cretaceous volcanic-sedimentary assemblages of Gazakh trough (Lesser Caucasus)]. *Baku State University News, Natural Sciences Series*. 2015. No. 2. P. 92—99. (in Russ.)
- [4] Mamedov M.N., Mahmudov S.A., Panakhi K.A., Abdullaeva N.M. Mineraly ceolitovoj grupy Azerbajdzhana [Minerals of the zeolite group of Azerbaijan]. Baku: Nafta-Press, 2000. 161 p. (in Russ.)
- [5] Chelishchev N.F., Berenshtein B.G., Volodin V.F. Ceolity — novyj tip mineral'nogo syr'ja [Zeolites are a new type of mineral resources]. M.: Nedra, 1987. 176 p. (in Russ.)
- [6] Mikhailov A.S. Mestorozhdenija vysokokremnistyh ceolitov Zakavkaz'ja [Deposits of high-silicon zeolites of the Transcaucasia]. *Soviet geology*. 1975. No. 9. P. 70—78. (in Russ.)
- [7] Chkheidze R.G. Mestorozhdenija vysokokremnistyh ceolitov Zakavkaz'ja i geologicheskie predposylki ih osvoenija [Deposits of high-silicon zeolites of Transcaucasia and geological prerequisites of their development]. Author's thesis. Tbilisi, 1981. 25 p. (in Russ.)
- [8] Mamedova N.V. Structural and facial features of the Upper Cretaceous volcanism of the Gazakh trough and the conditions for the formation of deposits of nonmetallic minerals. Author's thesis. Baku, 1984. 25 p. (in Russ.)
- [9] Gogishvili V.G. Jepigeneticheskoe proishozhdenie stratiformnyh mestorozhdenij vysokokremnistyh ceolitov (na primere Zakavkaz'ja) [Epigenetic origin of high-silicon zeolite stratiform deposits (Transcaucasia case study)]. *Natural zeolites*. M.: Nauka, 1980. P. 65—75. (in Russ.)

### Article history:

Received: 23 September 2017

Accepted: 15 October 2017

### For citation:

Rasulova S.K., Baba-zadeh V.M., Belousov P.E., Mamedov M.N., Imamverdiyev N.A., Kerimov V.M., Vikentiev I.V. Formation of zeolite deposits of gazakh depression (lesser caucasus). *RUDN Journal of Engineering Researches*, 18(4), 480—496. doi: 10.22363/2312-8143-2017-18-4-480-496



**Bio Note:**

*Samaya Kamran Rasulova*, post-graduate student at the Department of Mineral Resources, Baku State University, Baku, Republic of Azerbaijan. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: elshanrasulov@hotmail.com

*Vasif Mammad-Aga Baba-Zadeh*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, academician, head of the Department of Mineral Resources, Baku State University, Baku, Republic of Azerbaijan. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: vbabazade1938@mail.ru

*Petr Evgenievich Belousov*, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, junior research associate, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Science, Moscow. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: pitbl@mail.ru

*Musa Nasib Mamedov*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, professor at the Department of Mineral Resources, Baku State University, Baku, Republic of Azerbaijan. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: musamamedov@rambler.ru

*Nazim Ajar Imamverdiyev*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, professor at the Department of Mineral Resources, Baku State University, Baku, Republic of Azerbaijan. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: inazim17@yahoo.com

*Vagif Mirzamekhti Kerimov*, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, associate professor at the Department of Oil&Gas of Azerbaijan State Oil and Industrial University, Baku, Republic of Azerbaijan. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: vagif\_kerimov@rambler.ru

*Ilya Vladimirovich Vikentiev*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, professor, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow. *Research interests:* geology, mineralogy. *Contact information:* E-mail: ilyavikentev@rambler.ru