



**Чекрыжов Игорь Юрьевич** –  
Дальневосточный геологический  
институт ДВО РАН, Владивосток



**Попов Владимир Константинович** –  
к. г.-м.н., Дальневосточный геологиче-  
ский институт ДВО РАН, Владивосток

УДК 550.4;553.6;553.2

ЦЕОЛИТИТЫ ПРИМОРЬЯ: ГЕНЕЗИС  
И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ZEOLITITES OF PRIMORYE: GENESIS  
AND MINERALOGICAL-GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS

Рассмотрена геологическая позиция основных проявлений цеолитов в зонах развития раннекайнозойского вулканизма на территории Приморского края. Установлена их приуроченность к двум вулканическим комплексам: богопольскому в Восточном Сихотэ-Алине и краскинскому в Юго-Западном Приморье. Охарактеризован их минерально-геохимический состав и условия образования.

*Ключевые слова:* **цеолиты, вулканизм, Восточный Сихотэ-Алинь.**

The geologic position of the main manifestations zeolites development zones of early cainozoic volcanism in the Primorsky region. We establish a restriction to the two volcanic complexes: Bogopolskii in East Sikhote-Alin and Kraskinskii in Southwest Primorye. Characterized by their mineral composition and geochemical conditions of formation.

*Keywords:* **zeolites, volcanism, East Sikhote-Alin.**

В научных публикациях для обозначения пород, содержащих цеолиты в концентрациях от 10 до 50%, применяемых в промышленности, сельском хозяйстве и медицине, используются различные термины: «цеолит», «природный цеолит», «цеолитсодержащий туф», «цеолитовый туф», «цеолитолит». Мы предпочли термин цеолитит, считаем его наиболее подходящим для обозначения цеолитового сырья.

Основным полезным компонентом цеолититов, обнаруженных на территории Приморского края, являются высококремнистые разновидности цеолитов – клиноптилолит и гейландит.

Всего выявлено 12 (рис. 1) источников цеолитового сырья в Приморье, в том числе 2 из них позиционируются как месторождения, остальные – как проявления. Геолого-минералогическое изучение обоих месторождений и нескольких проявлений цеолититов проводилось в 80–90-х гг. прошлого века разными исследователями [1, 3, 4].

Среди задач, которые мы ставили перед собой при исследовании источников цеолитового сырья, были следующие: изучение минерального, химического и микроэлементного состава цеолититов и вмещающих их вулканических и вулканогенно-осадочных пород, установление возраста цеолитовой минерализации, условий ее образования, связь с вулканизмом. Предварительные итоги этого исследования уже опубликованы [14].

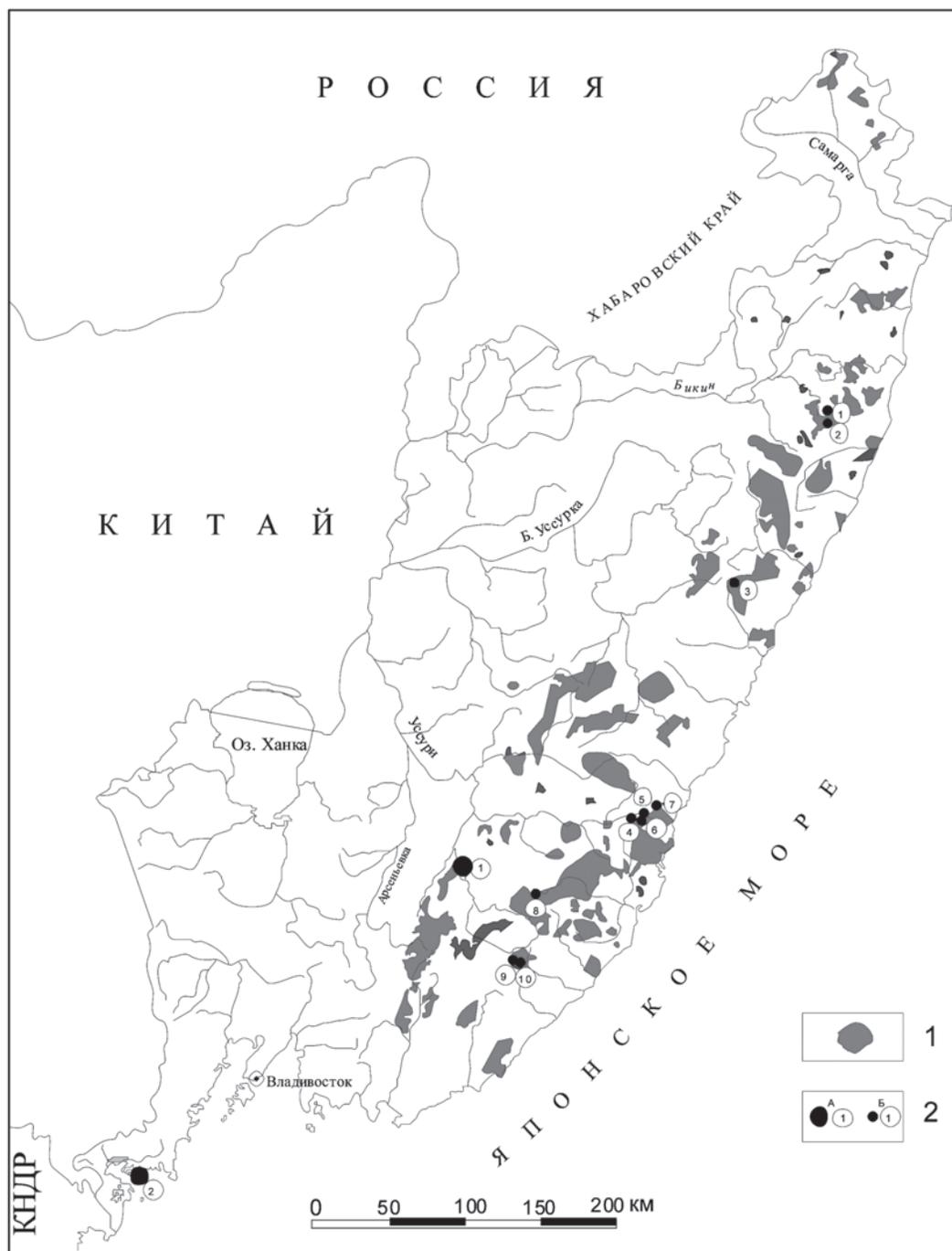
### **Методы исследования**

Исследования химического состава пород проводились методом мокрой химии в Дальневосточном геологическом институте (ДВГИ) ДВО РАН, а также методом ISP-MS в Институте геохимии СО РАН (г. Иркутск). Минеральный состав изучался методом рентгенографического фазового анализа (РФА) в ДВГИ ДВО РАН, а также в Институте геологии и геофизики (ИГГ) СО РАН (г. Новосибирск). Электронно-микроскопическое изучение проводилось на сканирующем электронном микроскопе ZEISS EVO 50 XVP (ДВГИ ДВО РАН). Для уточнения стратиграфической позиции вулканических пород, вмещающих цеолитовую минерализацию, выполнен ряд определений абсолютного возраста в специализированных лабораториях Института земной коры (ИЗК) СО РАН (г. Иркутск) и Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН (г. Москва), проведены также сборы макро- и микрофитофоссилий. Спорово-пыльцевой анализ выполнен Т.И. Петренко (ДВГИ ДВО РАН), определение листовой флоры и заключения по возрасту сделаны Б.И. Павлюткиным (ДВГИ ДВО РАН).

### **Геолого-структурные закономерности формирования цеолититов**

В Приморье, в пределах Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса, подавляющее большинство проявления цеолититов, включая Чугуевское месторождение, приурочено к ареалам палеоцен-нижнеэоценовых вулканических комплексов богоспольского комплекса.

Риолит-дацитовый вулканизм богоспольского комплекса характеризуется широким развитием вулканических стекол (перлитов), слагающих покровные и экструзивно-



**Рис. 1.** Локализация месторождений и проявлений цеолитов на территории Приморского края.  
 1 – вулканиты палеоцен-эоценового возраста и синхронные вулканогенно-осадочные образования;  
 2 – месторождения (А): 1 – Чугуевское, 2 – Новгородское; проявления (Б): 1 – Водораздельное,  
 2 – Лосёвское, 3 – Шандуйское, 4 – Суворовское, 5 – Колобёнкинское, 6 – Шведовское,  
 7 – Кисинское, 8 – Фурмановское, 9 – Дорожное, 10 – Берёзовое

дайковые тела, а также пирокластические и вулканогенно-осадочные породы, содержащие значительное количество мелких обломков и частиц стекла (пепловые туфы, туффиты, туфопесчаники, туфоалевролиты). Изотопные Rb/Sr и K/Ar датировки абсолютного возраста покровных и экструзивных образований указывают на возраст 59,7–52,9 млн лет [9, 15]. Для стратифицированных цеолитоносных вулканогенно-осадочных комплексов Зеркальненской и Ванчинской впадин этот возрастной рубеж подтвержден нами и на основе палеоботанических определений [11, 12].

Таким образом, нами было установлено, что цеолитовая минерализация гидротермального типа, представленная на Чугуевском месторождении, а также на проявлениях Водораздельное, Дорожное, Лосёвское, Шандуйское, Кисинское, Колобенкинское, Шведовское и Фурмановское, как и гидротермально-диагенетического типа в пределах Устиновского и Берёзового проявлений, приурочена к витрокластическим пепловым туфам и туффитам богопольского вулканического комплекса.

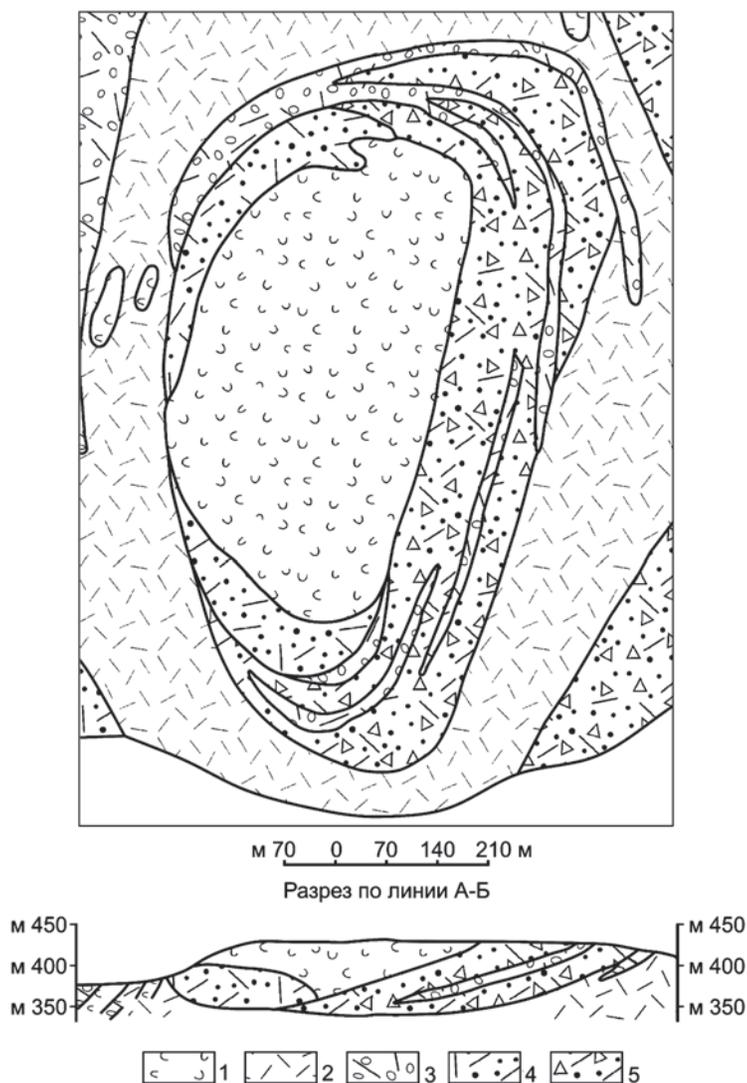
Второй возрастной этап формирования цеолититов на территории Приморья связан с кислым вулканизмом эоцена-олигоцена, проявившимся локально лишь в ряде рифтогенных впадин. Так, единственное Новгородское месторождение цеолититов на юго-западе Приморья связано с экструзивно-лавовыми и пирокластическими фациями вулканических стекол и стекловатых пород краскинского вулканического комплекса. Абсолютный K-Ar возраст риолитов и вулканических стекол здесь составляет 36,7–33,5 млн лет [9]. Аналогичные им по возрасту и составу кислые эффузивы кедровского комплекса выделяются на территории Восточного Сихотэ-Алиня – в бассейнах рек Максимовка, Соболевка и Кузнецова [7].

## **Краткая характеристика месторождений и проявлений цеолититов**

### ***Чугуевское месторождение***

Месторождение находится в Чугуевском районе, на водоразделе р. Чугуевка и кл. Неретина в 3,5 км. к юго-востоку от с. Чугуевка. В 1983–1986 гг. на площади месторождения проводились поисковые работы. В период 1990–1993 г. проводилась детальная разведка месторождения.

Месторождение (рис. 2) представляет мультислойную залежь сложного строения, выполненную цеолититами, развитыми по стекловатым риолитовым туфам и лавам богопольской свиты (нижняя подсвита), перекрытыми покровом перлитов (верхняя подсвита). Наиболее высокие содержания цеолитов (60–80%) тяготеют к обрамлению перлитового покрова, образуя цеолититовую залежь. Данная залежь по литологическому составу и содержанию цеолитов подразделяется на две части – западную и восточную. Западная, наиболее богатая, часть сложена цеолитизированными туфами риолитов с содержанием цеолитов 50–80%. По данным рентгенофазового анализа, выполнявшегося в процессе разведочных работ, основным минералом является клиноптилолит, присутствует также морденит (в среднем 15%). Помимо цеолитов в туфах отмечены монтмориллонит (5–6%), кварц и кристобалит. В восточной части развиты туфы, туфобрекчии, лавобрекчии риолитов с содержанием цеолитов от 40 до 70%. Минеральный состав аналогичен туфогенному горизонту, но с меньшим количеством морденита. Общие размеры залежи 700х300 м. Максимальная мощность порядка 80 м. Запасы цеолититов оцениваются в 30 млн т.



**Рис. 2.** Геологическая карта Чугуевского месторождения цеолитов (по: Трефилова, 1985). 1 – перлиты; 2 – риолиты; 3 – сферолитовые риолиты; 4 – цеолитизированные туфы 5 – цеолитизированные туфы и туфобрекчии риолитов

### **Новгородское месторождение**

Находится на юге Приморского края (южное побережье полуострова Краббе, Хасанский район). Месторождение было выявлено в 1980 г. Поисковые работы проводились партией Прогнозов Приморской геолог-съёмочной экспедиции в 1982 г. и отрядом ИГЕМ РАН в 1985 г.

Месторождение сложено вулканогенными породами эоцен-олигоценового кракского комплекса. Наибольшим развитием в пределах месторождения пользуются андезиты зайсановского комплекса, которые в виде покрова залегают на палеозойских гранитоидах. Мощность покрова составляет около 40–60 м. Кислые вулканиты прорывают андезиты. На п-ове Краббе риолиты, вулканические стекла и витрокла-

стические туфы слагают руины крупной вулканической постройки. В центральной части постройки, на мысе Дегера, береговой обрыв сложен экструзивным вулканическими стеклами (перлитами). Протяженность тела в субширотном направлении около 200 м, ширина порядка 100 м. Экструзивное тело в северной части перекрыто туфами, образуя своеобразную криптожерловину. Туфы сложены тонкообломочными и псаммито-псефитовыми обломками стекла и вулканических пород. Цементирующая масса представлена пепловым материалом. Мелкообломочные разновидности туфа состоят из пепловых частиц. Крупнообломочный туф состоит из обломков перлитов размером от 0,5 до 5 см, которые сцементированы пепловым материалом. Пепловые туфы интенсивно цеолитизированы. В крупнообломочном туфе наиболее значительные по размеру обломки цеолитизированы лишь частично.

По данным исследований с помощью полевой цеолитовой лаборатории (ПЦЛ-2) и рентгенофазового анализа в период поисковых работ 1985 г., было установлено, что во всех пробах, отобранных из туфов, присутствуют цеолиты: клиноптилолит, гейландит и редко морденит. Содержание цеолитов в среднем превышает 50–70 %. Прогнозные ресурсы цеолитов, имеющих выходы на поверхность, оцениваются по категории  $P_2$  в 3,5–4,0 млн т. (данные поисково-оценочных работ 1985 г.).

### **Верхне-Бикинский цеолитоносный район**

Многочисленные проявления цеолитов в этом районе впервые обнаружены и описаны А.М. Паничевым в начале 80-х гг. в процессе работ, связанных с изучением природных зверовых солонцов – кудюров [6]. Проявления приурочены к вулканотектоническим кайнозойским впадинам в пределах бикинской широтной структуры.

#### ***Проявление Водораздельное***

Проявление находится в приводораздельной части бассейнов р. Пещерка (приток р. Бикин) и Лосевка (приток р. Максимовка). Административно это территория Пожарского района Приморского края. Элементы геологии участка Водораздельный изучались в середине 90-х гг. геологами Южно-Приморской экспедиции Г.Л. Амельченко и А.П. Гутниковым.

Площадь проявления приурочена к опущенному блоку Соболевско-Светловодненской вулканотектонической депрессии. Депрессия имеет форму овала, вытянутого в субширотном направлении, и выполнена вулканитами приморской, левособолевской, кузнецовской свит, кедровской и салибезской толщ. Проявление представляет коренной выход светло-зеленоватых, местами зеленовато-желтых или почти белых слоистых пород, образующих карьерообразный пологий уступ высотой до 5 м и протяженностью около 20 м. Обнажение сложено цеолитизированными и монтморилонитизированными пепловыми туфами риолитового состава, относимыми к левособолевской свите (богопольский комплекс). Их слоистый облик обусловлен чередованием тонко- и грубообломочных разностей. Породы сильно выветрелые, пористые, участками обводненные. Падение слоев в обнажении в север-северо-восточных румбах с углом наклона  $5^\circ$ .

Породы интенсивно цеолитизированы и сложены скрытокристаллическими агрегатами гейландита и клиноптилолита. В качестве примесей (менее 1%) отме-

чены стильбит и анальцим. Содержание смектита колеблется от единиц до 40% и более. Местами в составе примесей отмечены также карбонаты (в виде натечных корок и прожилков), гидроксиды железа и марганца (в виде корок, дендритов и конкревидных стяжений), а также органические вещества. Последние чаще представлены редкими обугленными включениями фрагментов флоры. Содержание цеолитов в тонкоплитчатых разностях достигает 80 – 85%. Массивные туфы содержат до 30 % цеолитов, а среди слагающих их минералов преобладают калиевые полевые шпаты. Помимо описанных туфов в пределах проявления встречаются обломки белых или светло-серых слабоцеолитизированных девитрифицированных риолитов с порфиrowыми выделениями кварца. К югу наблюдаются выходы туфогравеллитов и туфоконгломератов, также цеолитизированных и аргиллизированных.

Процессы цеолитизации, согласно полевой геологической документации Г.Л. Амелъченко, связаны с эоценовым этапом проявления базальт-риолитового вулканизма кедровской серии. Он также отмечает, что процессы цеолитизации были проявлены в кислых вулканитах, перекрытых покровами базальтов салибезского комплекса, которые экранировали зоны разгрузки гидротермальных растворов.

### *Проявление Лосёвское*

Находится в истоках руч. Лосёвка, левого притока р. Максимовка. Цеолитовая минерализация развита по витрокристаллокластическим туфам риолитов, относимых к палеоцен-эоценовому богопольскому комплексу. Никаких геологоразведочных работ на проявлении не проводилось, масштабы его трудно оценить из-за плохой обнаженности. Видимая мощность цеолититов в разрезе составляет не менее 10 м.

### **Колумбинский цеолитоносный район**

Проявления цеолитов в этом районе также были выявлены А.М. Паничевым в начале 80-х гг. в процессе работ связанных с изучением природных зверовых солонцов – кудюров [6]. Проявления приурочены к вулcano-тектоническим кайнозойским впадинам в пределах Колумбинского разлома.

### *Проявление Шандуйское*

Находится в приводораздельной части правого притока р. Таежная в Тернейском административном районе. В структурном отношении проявление приурочено к вершинной кальдере влк. Солонцовый. Проявление представляет собой обширное обнажение коренных выходов, сложенных пепловыми туфами риолитов богопольского комплекса. Видимая мощность туфов составляет около 100 м. В разрезе толщи резко преобладают тонкообломочные разности, реже встречаются более грубообломочные от алевропелитовых до псаммитовых кристалловитрокластических туфов. Текстура туфов в большинстве тонкослоистая. Минералогический анализ с использованием ПЦЛ-2 показал содержание цеолитов от 45 до 100%.

### **Зеркальненский цеолитоносный район**

Зеркальненский цеолитоносный район, выделенный нами в Кавалеровском административном районе, включает в себя Зеркальненскую вулканотектоническую

депрессию и ее обрамление, где развиты вулканиты богопольского вулканического комплекса. Здесь еще в 1966 г. геолог В.Ф. Маринин впервые в Приморском крае описал цеолитизацию как особый тип вторичных изменений в вулканогенных образованиях богопольской свиты. Позже, в 1985 г., поиском и изучением цеолитов здесь занималась партия Прогнозов Приморской геологосъёмочной экспедиции вместе с отрядом ИГЕМ РАН. Нами изучены Кисинское, Колобенкинское, Шведовское и Устиновское проявления цеолититов.

### *Проявление Кисинское*

Проявление расположено на правом берегу кл. Кисина, левого притока р. Зеркальная. В геологическом строении площади проявления принимают участие вулканиты богопольской и суворовской свит.

Богопольская свита здесь сложена туфами риолитов и игнимбритами, которые несогласно перекрываются андезитами и базальтами суворовской свиты. Цеолититы приурочены к туфогенной пачке богопольской свиты залегающей на кислых вулканитах приморской серии, и перекрываются одновозрастными игнимбритами. Выходы пепловых туфов по правому борту руч. Кисина сохранились в опущенном блоке пород, в зоне субширотного Зеркальненского разлома. Туфы преимущественно агломератовые с крупными обломками цеолитизированного вулканического стекла. Запасы по проявлению не подсчитывались.

### *Проявление Колобёнкинское*

Проявление расположено на правом берегу руч. Колобенкин, левого притока р. Зеркальная. Площадь проявления сложена туфами и лавами риолитов и риодацитов богопольской свиты. Проявление расположено на западном фланге Богопольского месторождения перлитов. Среди вулканогенных образований выделяются горизонты спекшихся витрокластических туфов, перекрытых потоком риолитов. Туфы представляют собой породы зеленовато-серого цвета. Обломки сложены в разной степени цеолитизированным вулканическим стеклом. Кроме стекла присутствуют угловатые обломки плагиоклазов (олигоклаз-андезин), калишпата, кварца, роговой обманки, а также обломки эффузивов. Связующая масса породы представлена зернисто-микрочешуйчатым глинисто-слюдистым и цеолитовым агрегатом.

По данным оценочных работ, проводившихся в 1985 г. партией Прогнозов Приморской геологосъёмочной экспедиции вместе с отрядом ИГЕМ РАН, содержание цеолитов в туфах составляет в среднем 60–70%. Ресурсы участка по категории  $P_2$  оцениваются в 2 млн т.

### *Проявление Шведовское*

Расположено на правом берегу руч. Шведова, правого притока р. Зеркальная. Площадь проявления сложена вулканитами богопольской свиты. Это интенсивно сваренные псаммито-псефитовые литокристаллокластические туфы риолитов и пепловые цеолитизированные туфы риолитов. Сваренные туфы сиреневато-серого цвета с округлыми и угловатыми зёрнами кварца и полевого шпата. Пепловые цеолитизированные туфы, слагающие проявление, пользуются сравнительно небольшим развитием среди вулканитов. Они представляют собой белые породы с алевритовой

размерностью обломков основной массы. В толще пеплового туфа наблюдается слабо выраженная слоистость. Залегание туфов пологое. Проявление цеолитов приурочено к коренному обнажению общей площадью около 1000 м<sup>2</sup>, сложенному интенсивно выветрелыми белыми туфами риолитов. Пепловые туфы содержат небольшие скопления пизолитов шарообразной и эллипсоидальной формы, составляющих до 10% объема породы. Породы содержат значительное количество (10-15%) обломков кварца. По основной связующей пепловой массе породы развиваются шестоватые и скрытокристаллические агрегаты цеолитов.

По данным оценочных работ, проводившихся в 1985 г., содержание цеолитов в туфах колеблется от 40 до 90%. Установленная площадь распространения цеолитизированных туфов в пределах Шведовского проявления составляет приблизительно 150x250 м при мощности цеолитоносной толщи 10 м. Прогнозные ресурсы цеолитов по категории Р<sub>2</sub> оцениваются в 0,7–1 млн т.

### *Проявление Устиновское*

Расположено на правом берегу р. Зеркальная, в 3 км от с. Устиновка. В геологическом строении проявления принимают участие вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования богопольской, тадушинской и суворовской свит.

Богопольская свита представлена риолитовыми порфирами, риодацитами, туфами псаммито-псефитовыми до агломератовых светло-серого, серого и зеленовато-серого цвета. Тадушинская свита сложена кислыми туфами, туффитами и углисто-глинистыми сланцами. Наиболее развиты псефитовые туфы зеленовато-серого цвета. Туффиты имеют окраску от зеленовато-серой до темно-серой. Выделяются алевропелитовые и псаммитовые разности. В зоне выхода на дневную поверхность породы разложены до состояния глины. Горизонт бентонитовых глин, с которым связано Устиновское месторождение бентонитов, также относится к тадушинской свите. На проявлении породы тадушинской свиты частично перекрыты эоценовыми базальтами суворовской свиты.

Изучение палеофлоры из отложений тадушинской свиты в пределах Зеркальненской впадины позволило нам сделать вывод о синхронности завершающих этапов вулканизма богопольского комплекса и накоплении вулканогенно-осадочных отложений тадушинской свиты.

А.С. Михайловым и др. [3] на площади Устиновского проявления было выделено Суворовское месторождение цеолитов, сложенное клиноптилолитом с примесью кварца, кристобалита и монтмориллонита. Прогнозируемые А.С. Михайловым ресурсы цеолитовых пород в количестве 20 млн т., вероятнее всего, завышены.

### *Проявление Фурмановское*

Расположено на левом борту истоков р. Фурмановка в Ольгинском районе. Площадь проявления сложена кислыми вулканитами богопольской свиты. В верховье кл. Семейный, в основании богопольской свиты, прослеживается горизонт конгломератов, состоящий из гальки и валунов алевролитов. Выше залегают грубообломочные псефитовые туфы риолитов, которые перекрываются кластолавами риолитового состава. В центральной и юго-восточной частях участка на кластолавах субгоризон-

тально залегает толща пепловых туфов мощностью до 100 м, которая согласно перекрывается биотитовыми риолитами.

Проявление цеолитов приурочено к горизонту пепловых туфов, обнажающихся на крутом левом склоне долины ключа. Туфы имеют серовато-белый цвет, иногда со слабым зеленоватым или розоватым оттенками. Структура породы витрокристаллокластическая, с преобладанием связующей массы, состоящей из обломков измененного вулканического стекла. Содержание цеолитов в пепловых туфах по нашим данным достигает 50%.

### **Милоградовский цеолитоносный район**

Милоградовский цеолитоносный район выделен нами в верховьях р. Милоградовка Ольгинского района и включает в себя Ванчинскую впадину и ее восточное обрамление. Цеолиты впервые были установлены здесь в 1975 г. специалистами ВНИИГеолнеруд [3], которые оконтурили Милоградовское месторождение цеолитов по р. Чернокаменка. Позже цеолитизированные породы в этом районе изучали Ю.П. Бидюк (1976), В.А. Пахомов и др. (1976), В.С. Коренбаум и др. (1985), А.М. Паничев (1987). Нами описано два проявления в пределах Ванчинской впадины, где высокие содержания цеолитов сочетаются с большими масштабами цеолитизации.

#### ***Проявление Дорожное***

Расположено на левобережье руч. Ванчин-Угольный (Чернокаменский) в приустьевой части руч. Горелый. Представлено палеоценовыми цеолитизированными витрокристаллокластическими туфами риодацитового состава. Мощность цеолитовой пачки достигает здесь 15 м. Морфология цеолитовых агрегатов Дорожного проявления показана на рис. 3.

#### ***Проявление Берёзовое***

Расположено на левом борту руч. Берёзовый, правого притока руч. Ванчин-Угольный. Цеолититы представлены палеоценовыми туфопесчаниками и туффитами подугольной пачки со значительной примесью углефицированного растительного детрита. Выход этих пород на дневную поверхность приурочен к бровке отчетливо выраженного в рельефе линейного уступа, трассирующего сброс в центральной части депрессии. Цеолитовая минерализация носит стратиформный характер. Видимая мощность цеолитизированных пород – до 20 м.

### **Особенности минералогии и геохимии цеолититов**

Химический и минеральный состав цеолититов описанных проявлений приведен в таблицах 1, 2. Как видно из табл. 1, в цеолититах, помимо основного компонента – цеолитов группы клиноптилолита-гейландита, в сопоставимых количествах присутствуют кварц, кристабалит, полевые шпаты, смектиты. В более высокотемпературных гидротермальных цеолититах Чугуевского и Новгородского месторождений наряду с клиноптилолитом-гейландитом выявлен морденит.

## Минеральный состав цеолититов по данным рентгенофазового анализа

№ образца	Привязка	Порода	Минеральный состав
1-7	Проявление Водораздельное	Пепловый туф	К-Г, Кв, См, ПШ, Ст, Ан
15-5	Проявление Лосёвка	Витрокристалокластический туф	К-Г, Кв, См
15-17	Шандуйское проявление	Витрокристалокластический туф	К-Г, Кр, Кв
У 2-9	Проявление Суворовское	Витрокристалокластический туф	К-Г, Кв, Кр, ПШ, См
24-1	Проявление Колобёнкинское	Витрокристалокластический туф	К-Г, Кв, ПШ, См
Б-1	Проявление Шведовское	Витрокристалокластический туф	К-Г, Кв, ПШ, См
К-1-3	Проявление Кисинское	Витрокристалокластический туф	К-Г, Кв, ПШ, См
Ч-1-2	Чугуевское месторождение	Витрокристалокластический туф	К-Г, Кв, См, Мо
22-10	Проявление Фурмановское	Витрокластический туф	К-Г, См, ПШ
7-14	Проявление Берёзовое	Туффит	К-Г, Кр, См, Кв, Пш
8-17	Проявление Дорожное	Витрокластический туф	К-Г, Кр, Кв, См, ПШ
П-402	Новгородское месторождение	Витрокристалокластический туф	К-Г, Кв, См, Мо

**Примечание.** К-Г – цеолиты группы клиноптилолита-гейландита, Мо – морденит, Ст – стильбит, Ан – анальцит, Кв – кварц, Кр – кристобалит, См – глинистые минералы группы смектита, ПШ – полевые шпаты, КПШ – калиевые полевые шпаты (минералы даны в порядке убывания концентрации).

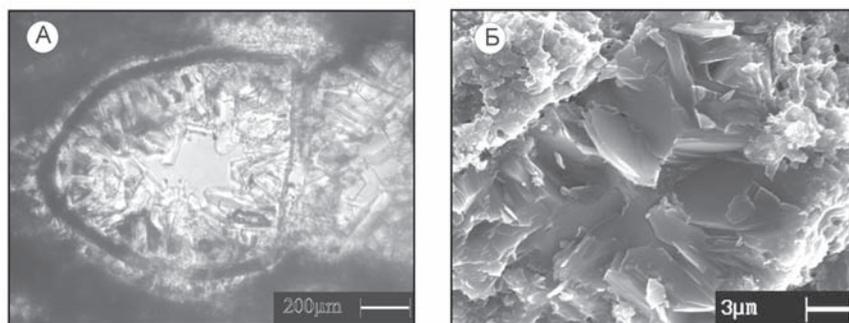
Ранее при изучении процессов цеолитообразования Белогорского и Охотского месторождений перлитов было установлено, что процессы цеолитизации вулканических стекол и стекловатых пород сопровождаются падением концентраций в них щелочей и увеличением Al, Mg и особенно Ca [5]. Аналогичная закономерность поведения элементов установлена нами при изучении вулканических стекол и цеолититов гидротермального генезиса Чугуевского и Новгородского месторождений. Тренды распределения редких и редкоземельных элементов в неизменных и цеолитизированных вулканических стеках (перлитах) и туфах близки и характеризуются относительно высокими концентрациями Cs, Nb, Zr, образующими на диаграммах нормированного распределения редких и редкоземельных элементов отчетливо выраженные максимумы, и низкими – Ba, Sr, Ti с соответствующими минимумами (рис. 4). Редкоземельный состав исходных пород характеризуется пологим подъемом кривой от лантана к лютецию с отчетливым европиевым минимумом и менее отчетливым максимумом содержания Tm.

Аналогичные закономерности распределения микроэлементов выявлены в перлитах и вулканогенных цеолититах Краскинского вулканического комплекса, для которых характерно относительное обогащение Ba при обедненности Nb, Sr и Ti. При этом цеолитизация перлита сопровождается накоплением (в среднем в 2 раза) Rb и Zr, а также выносом Sr, Ba и Pb (см. рис. 4).

## Химический (масс. %) и микроэлементный (ppm) состав цеолититов

	1-7	15-5	015-17	У-2-9	24-1	Б-1	К-1-3	Ч-1-2	22-10	7-14	8-17	П-402
SiO <sub>2</sub>	71.38	68.83	65.24	61.30	66.02	68.27	65.94	64.02	59.58	64.85	64.88	61.94
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.27	0.19	0.40	0.22	0.18	0.25	0.16	0.19	0.32	0.43	0.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.44	12.38	14.21	14.40	12.69	13.35	11.75	12.74	15.07	13.60	12.83	14.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.80	1.40	2.37	2.30	0.66	0.85	1.00	1.00	0.98	1.95	2.37	1.20
FeO	0.27	0.26	0.17	0.55	0.79	0.72	0.64	0.32	0.51	0.38	0.52	0.24
MnO	0.03	0.03	0.07	0.03	0.04	0.02	0.03	0.06	0.05	0.03	0.13	0.02
MgO	1.56	0.41	0.43	0.80	1.61	1.99	1.57	0.98	0.98	1.42	0.13	0.17
CaO	1.90	1.96	1.80	2.85	2.84	0.75	2.59	3.06	2.74	0.60	0.63	1.17
Na <sub>2</sub> O	0.82	2.09	0.86	2.03	0.67	1.93	2.22	1.06	2.55	2.42	1.99	4.18
K <sub>2</sub> O	1.03	2.4	3.45	1.75	2.28	3.68	2.30	2.78	2.17	3.38	2.78	2.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.07	0.02	0.12	0.06	0.11	0.02	0.05	0.03	0.15	0.10	0.03
H <sub>2</sub> O	3.68	4.01	4.21	4.57	3.71	2.86	3.85	4.09	4.31	2.80	2.83	6.90
п.п.п.	6.37	8.04	7.12	8.40	7.92	4.82	7.97	9.22	10.40	7.65	9.90	9.08
Сумма	99.51	100.15	100.14	99.50	99.51	99.53	100.13	99.54	99.56	99.55	99.55	99.69
Ga	12.74	10.41	14.35	16.33	18.06	21.27	11.66	18.78	17.18	37.60	23.85	13.54
Ge	1.13	0.64	1.00	0.99	1.06	1.60	0.75	0.78	0.89	–	1.35	0.38
Rb	55.45	73.63	132.91	49.00	155	185.66	118.01	185.66	144.46	210.0	157.33	41.82
Sr	660.64	328.60	156.23	423.06	420.84	379.65	887.22	106.18	1320.9	94.0	157.33	170.18
Y	28.17	14.40	22.10	37.53	35.12	57.55	21.18	18.39	18.27	68.60	44.15	8.47
Zr	121.84	147.83	137.55	249.91	164.42	120.34	138.95	114.04	149.88	585.0	608.23	162.77
Nb	11.89	7.28	12.92	14.46	13.05	15.75	8.03	18.92	21.17	38.60	37.88	13.32
Cs	17.59	22.37	1240	12.18	6.99	12.97	18.92	26.55	10.41	17.20	9.27	8.43
Ba	1802.3	685.59	859.39	644.37	1142.4	406.29	1629.4	156.83	711.80	131.0	462.81	811.36
La	32.87	20.25	25.12	35.34	43.03	33.72	21.29	26.48	34.25	61.85	51.48	36.87
Ce	65.27	44.24	52.38	81.95	80.03	68.25	45.69	47.71	48.46	114.9	112.39	78.83
Pr	7.53	4.66	5.73	9.35	9.71	8.91	4.81	5.78	7.78	11.98	13.23	5.82
Nd	31.54	18.05	21.47	36.91	40.49	40.94	20.92	24.19	29.74	47.0	46.25	17.65
Sm	5.88	3.38	4.73	7.07	7.51	8.78	3.25	4.19	4.47	8.90	10.54	2.42
Eu	1.27	0.63	0.72	1.66	0.66	0.43	0.82	0.18	0.45	0.86	0.88	0.44
Gd	6.09	3.01	4.39	7.49	7.30	8.33	3.39	3.95	4.21	9.29	10.53	4.87
Tb	0.87	0.44	0.65	1.35	1.07	1.46	0.49	0.58	0.62	1.45	1.60	0.53
Dy	4.89	2.52	4.67	6.69	6.08	8.99	2.91	3.17	3.32	9.07	8.47	1.61
Ho	0.92	0.56	0.77	1.48	1.12	1.77	0.66	0.61	0.63	1.91	1.54	0.33
Er	2.30	1.64	2.45	4.11	2.93	4.39	1.74	1.65	1.69	5.53	3.78	0.90
Tm	0.49	0.21	0.38	0.63	0.62	0.99	0.38	0.37	0.41	–	0.61	0.14
Yb	2.38	1.59	2.75	4.24	3.37	4.79	1.98	2.06	2.18	6.06	3.31	1.00
Lu	0.38	0.22	0.39	0.68	0.55	0.72	0.31	0.31	0.34	0.98	0.51	0.16
Hf	3.80	4.29	4.48	7.22	5.40	5.44	4.14	4.87	5.60	11.99	13.88	5.01
Ta	0.54	1.34	1.32	1.32	1.55	1.34	1.40	2.80	2.65	–	3.01	1.45
Pb	55.45	25.58	38.21	26.41	36.94	35.13	43.19	32.33	72.04	19.0	67.40	7.89
Th	13.13	12.85	13.84	13.68	25.14	24.04	11.43	20.56	37.25	16.0	21.02	15.91
U	2.35	2.28	2.73	3.47	4.47	4.92	2.56	2.93	7.26	2.99	3.45	3.46

Примечание. Привязка проб дана в табл. 1, прочерк – не обнаружено



**Рис. 3.** Цеолиты Ванчинской впадины. А – кристаллы клиноптилолита, выполняющие поры (витрокристалло-кластический туф, проявление Дорожное), – прозрачный шлиф; Б – замещение частички вулканического стекла цеолит-сметитовым агрегатом (туфопесчаник, проявление Берёзовое). Снимок во вторичных электронах, сканирующий электронный микроскоп ZEISS EVO 50 XVP, ДВГИ ДВО РАН

Нами установлено также, что цеолититы, содержащие растительный детрит, отличаются более высоким содержанием всего спектра редких земель. Примечательно, что угли, переслаивающиеся с цеолитизированными породами в пределах Ванчинской впадины, имеют близкий спектр распределения редкоземельных элементов.

Редкоземельная минерализация в углях объясняется сорбцией РЗЭ гуминовым веществом в процессе гидротермального изменения пород [10]. Вероятно, аналогичным образом можно объяснить высокую концентрацию редких земель и в цеолитизированных породах, содержащих растительный детрит.

### Условия образования цеолититов в вулканогенных комплексах Приморья

В целом большинство цеолитовых проявлений Приморья относится к субфации высококремнистых К-Na цеолитов цеолит-сметитовой фации аргиллизитов, описанной в районах дацит-андезитового вулканизма [2]. Гидротермальные растворы, участвовавшие в процессах цеолитизации стекловатых пород судя по минеральному составу цеолититов имели температуру 130–150 °С и ниже и слабощелочную (рН 7–10) реакцию.

Цеолитовая (клиноптилолит-гейландитовая) минерализация вулканических стекол и стекловатых пород богопольского и краскинского вулканических комплексов сформировалась в процессе гидротермального преобразования витрокластических туфов и перлитов, а также гидротермально-диагенетического изменения пепловых туфов и туффитов. В составе богопольского и краскинского вулканических комплексов нами выделено два генетических типа (классификация по: [13]) цеолититов, представляющих промышленный интерес, – гидротермальные (вулканогенные) цеолититы (проявлены в вулканических постройках типа кальдер и на плечах кайнозойских впадин и ассоциирующие с вулканическими стеклами и ингнимбритами) и гидротермально-диагенетические (вулканогенно-осадочные) цеолититы (выделены в Зеркальненской (Устиновское проявление) и Ванчинской (Берёзовое проявление) приразломных вулканно-тектонических впадинах и связаны с вулканогенными

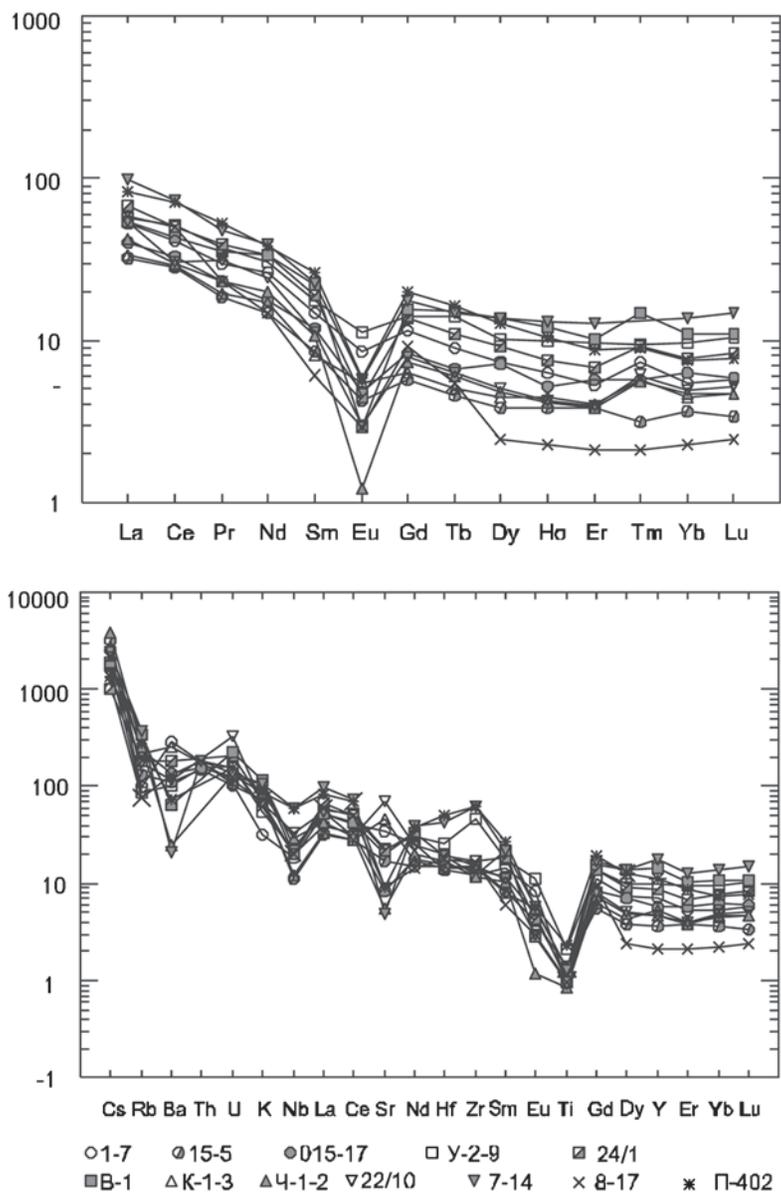


Рис. 4. Спайдер-диаграмма и РЗЭ-спектры цеолитов, нормализовано на средний состав верхней мантии (привязка проб дана в табл. 1)

слабоугленосными отложениями). Минеральный и химический составы цеолитов в первую очередь зависят от исходного состава субстрата, а также от температуры, щелочности и подвижности гидротермальных растворов. Редкоземельный спектр в цеолититах наследуется от исходного вулканического стекла. Степень цеолитизации пород зависит от их исходного состава и степени гидротермальной проработки. Максимальные концентрации цеолитов связаны с пластово-трещинной циркуляцией гидротермальных растворов в условиях «закрытой системы» (под экраном перлитов, риолитов, базальтов). Такие условия приводят к формированию промышленных зале-

жей (Чугуевское и Новгородское месторождения). Щелочной характер поствулканических гидротерм, скорее всего, имеет ведущее значение в цеолитизации, поскольку при их кислотном типе вмещающие породы (вулканические стекла и кислые-средние вулканиты) перекристаллизуются в каолинит и гидрослюды. Трахиандезитовый вулканизм, часто тяготеющий к цеолититовым залежам, возможно, являлся источником щелочных гидротерм, приведших к цеолитизации. Кроме того, лавовые покровы основных вулканитов, залегающие на кислых вулканических породах в зонах разгрузки гидротермальных растворов, служили экраном, способствовавшим более интенсивной проработке пирокластики.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов ДВО РАН № 09-III-B-08-462, 09-III-A-08-407

## Литература

1. Астапенко Г.И., Семёнов Е.Ф. Состояние изученности и сырьевые ресурсы цеолитизированных пород Приморья // Цеолиты Приморья. Тез. докл. науч. практич. конф. Владивосток, 1994. С. 9-12.
2. Жариков В.А., Русинов В.Л., Маракушев А.А. Метасоматизм и метасоматические породы. М.: Научный мир, 1998. 492 с.
3. Михайлов А.С., Бузов А.И., Аблямитов П.О. Промышленная цеолитоносность Сибири и Дальнего Востока. М.: ВИЭМС, 1980. 44 с.
4. Михайлов В.А., Чудаев О.В., Астапенко Г.И., Граждан Т.Г. Месторождения нерудного сырья Приморского края. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 1998. 181 с.
5. Нистратов Ю.А. Геологическая позиция и условия формирования Белогорского и Охотского месторождений перлитов: автореф. дис... канд. геол.-минералог. наук. М., 1993. 30 с.
6. Паничев А.М. Зверовые солонцы Сихотэ-Алиня. Владивосток: Изд-во ДВНЦ, 1987. 216 с.
7. Попов В.К. Петрология палеоген-неогеновых вулканических комплексов Восточного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 156 с.
8. Попов В.К., Гребенников А.В. Новые данные о возрасте эффузивов богопольской свиты в Приморье // Тихоокеанская геология. 2001. № 3. С. 47-54.
9. Попов В.К., Гребенников А.В., Коваленко С.В., Кутуб-Заде Т.К. Петролого-геохимическая характеристика кайнозойских вулканических комплексов Краскинской впадины (Приморье) // Мезозойские и кайнозойские магматические и метаморфические образования Дальнего Востока. Материалы Пятого Дальневосточного регион. петрограф. совещ., г. Хабаровск. Хабаровск: ФГУГПП «Хабаровскгеология», 2001. С. 38-40.
10. Середин В.В., Шпирт М.Я. Редкоземельные элементы в гуминовом веществе металлоносных углей // Литология и полезные ископаемые, 1999, № 3. С. 281-286.
11. Середин В.В., Чекрыжов И.Ю. Новые данные о раннекайнозойском вулканизме и гидротермальной минерализации Ванчинской впадины (Приморье) // Сборник трудов Международной научной конференции «Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии», Москва, ИГЕМ РАН, 2008. С. 187-189.
12. Чекрыжов И.Ю., Павлюткин Б.И., Петренко Т.И. Стратиграфия и геохимические особенности палеогеновых угленосных отложений Зеркальненской впадины, Приморье // Тезисы докладов Всероссийской конференции «Чтения памяти академика К.В.Симакова», Магадан (в печати).
13. Челищев Н.Ф., Беренштейн Б.Г., Володин В.Ф. Цеолиты – новый тип минерального сырья. М.: Недра. 176 с.
14. Chekrizhov I.Y., Popov V.K., Panichev A.M. Geochemistry and geodynamic regimes of formation of paleogenic zeolite-bearing volcano-genic complexes of Primorye. Metallogeny of the Pacific Northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins. Proceedings of the Interim IAGOD Conference Vladivostok, Russia: 1-20 September 2004. P. 35-38.
15. Rasskasov S., Taniguchi H., Goto A., Litasov K. Magmatic Expression of Plate Subduction beneath East Asia in the Mesozoic through Cenozoic // *Nortea Asian Studies*, 2004. Vol. 9. P. 179-219.