

УДК 550.93:551.21:551.781

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ КАЙНОЗОЙСКИХ РИФТОГЕННЫХ ВПАДИН ВОСТОЧНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ

**Чашин А.А., Попов В.К., Будницкий С.Ю., Чашин С.А., Ноздрачев Е.А.***ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» Дальневосточного отделения  
Российской академии наук, Владивосток, e-mail: achashchin@mail.ru*

В статье приведены результаты геохронологического изучения (К/Аг метод) пород базальт-андезит-дацитовой (кузнецовская свита) и дацит-риолитовой (кедровская толща) серий, распространенных в пределах двух кайнозойских рифтогенных впадин Восточного Сихотэ-Алиня – Кедровской и Пейской. Целью исследований было уточнить временной интервал формирования эффузивных пород Кедровской и Пейской впадин, традиционно относимых в большинстве публикаций к кузнецовской свите и кедровской толще. Полученные новые К/Аг датировки для вулканогенных образований кузнецовской свиты и кедровской толщи, выполняющих Кедровскую рифтогенную впадину, свидетельствуют, что основная стадия активного вулканизма в пределах этой структуры продолжалась в течение примерно 11 млн лет – от 53 до 42 млн лет назад. Установлено, что возраст вулканитов кузнецовской свиты здесь соответствует нижнему и среднему эоцену. Ранее их возраст рассматривался как палеоцен-эоценовый. Возраст пород кедровской толщи, согласно К-Аг и U/Pb датировкам, здесь соответствует среднему эоцену, что не расходится с существующими представлениями. Определено, что формирование магматических образований, отнесенных в пределах Пейской впадины к кузнецовской свите и кедровской толще, происходило в течение короткого интервала времени ~ 4 млн лет (35–32 млн лет), и характеризовалось синхронным извержением вулканитов основного и кислого состава. Согласно полученным геохронологическим данным, возраст изученных вулканитов Пейской впадины отвечает верхнему эоцену – нижнему олигоцену, что не согласуется с существующими на сегодняшний день представлениями о возрасте рассматриваемых пород (палеоцен-эоцен и соответственно эоцен). Высказано предположение о возможном проявлении в кайнозойских рифтогенных впадинах центрального звена Восточного Сихотэ-Алиня двух этапов проявления базальт-риолитового вулканизма – ранне-среднеэоценового (53–40 млн лет) и позднеэоцен-олигоценного (35–32 млн лет).

**Ключевые слова:** Восточный Сихотэ-Алинь, рифтогенные впадины, К-Аг датирование

## NEW DATA ON THE AGE OF VOLCANIC COMPLEXES FROM THE CENOZOIC RIFT BASINS OF THE EASTERN SIKHOTE-ALIN

**Chashchin A.A., Popov V.K., Budnitskiy S.Yu., Chashchin S.A., Nozdrachev E.A.***Far East Geological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok, e-mail: achashchin@mail.ru*

The K-Ar dating of basalt-andesite-dacite and dacite-rhyolite groups of rocks from the Kedrovka and Peysa rift basins of the Sikhote-Alin yielded insights into formation interval of these effusive rocks commonly referred in the majority of publications to the Kuznetsovskaya formations and Kedrovskaya strata, respectively. Geochronological study of the volcanic rocks from the Kedrovka rift basin has revealed that the main stage of volcanic activity within the structure continued throughout 11 million years approximately, namely from 53 to 42 Ma. The refined age for volcanics of the Kuznetsovskaya formation corresponds to the early and middle Eocene, rather than to the Paleocene-Eocene as was thought earlier. The middle Eocene age determined for the volcanic rocks of the Kedrovskaya strata is in accordance with the existing notion. With regard to the Peysa rift basin, the geochronological data evidence that magmatic activity here persisted for merely 4 million years (35–32 Ma) and was characterized by synchronous extrusion of basic and acidic lava flows. The age of these volcanics was determined as the late Eocene – early Oligocene which disaccords with the currently accepted ages: Paleocene-Eocene for the Kuznetsovskaya formation and Eocene for the Kedrovskaya strata. Therefore, the authors theorize about two stages of the basalt-rhyolite volcanism for the Cenozoic rift basins of the central link of the Sikhote-Alin – early-middle Eocene (53–40 Ma) and late Eocene-Oligocene (35–32 Ma).

**Keywords:** Eastern Sikhote-Alin, rift basins, K-Ar dating

В свете новейших геодинамических построений тектоническая перестройка восточной окраины Азии в палеогеновый период происходила в обстановке скольжения (трансформного взаимодействия) Тихоокеанской и Евразийской литосферных плит [1–3]. На континентальной окраине Япономорского бассейна в это время в результате развития сдвигов в режиме транстенсии (сдвиг с растяжением)

сформировались многочисленные зоны растяжения – рифтогенные впадины типа пулл-апарт [4], с присущими им процессами вулканизма и осадконакопления. На территории Приморья и Приамурья подобные депрессионные структуры выделены в Хасано-Амурский ареал рифтогенных впадин [1], который протягивается от Краскинской и Пойменной впадин (юго-западное Приморье) до Бухтынской

и Масловской в приустьевой части Амура. Геологическое развитие впадин сопровождалось многократными синхронными процессами кайнозойского вулканизма, осадко- и угленакопления.

Наиболее масштабно палеогеновый вулканизм проявился в рифтогенных впадинах северного (Белогорская, Бухтынская, Масловская), центрального (Кедровская, Светловоднинская, Максимовская, Пейская и др.) и южного (Зеркальненская, Крестовская, Ванчинская) звеньев Восточного Сихотэ-Алиня. Согласно существующим представлениям, для начального этапа развития (эоцен-олигоцен) вышеперечисленных структур растяжения характерно проявление бимодального (базальт-риолитового) вулканизма, на смену которому в дальнейшем (позднемиоцен-плиоцен) приходит преимущественно базальтовый вулканизм [1; 3].

Несмотря на детальное геолого-петрологическое изучение эоцен-олигоценного вулканизма Восточного Сихотэ-Алиня, проведенное в 80-е годы XX века [5; 6], многие важные вопросы стратиграфии и хронологии, включая взаимоотношения между вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями, заполняющими эти впадины, остаются по-прежнему актуальными из-за отсутствия по ним прецизионных геохронологических датировок. Чтобы хоть немного восполнить этот пробел, нами было выполнено геохронологическое исследование пород базальт-андезит-дацитов (кузнецовская свита (комплекс)) и дацит-риолитовой (кедровская толща (комплекс)) серий, широко развитых в пределах двух рифтогенных впадин Восточного Сихотэ-Алиня: Кедровской и Пейской (рисунок). Цель исследования: определить более точное время формирования магматических образований кузнецовского и кедровского комплексов, встречающихся в пределах Кедровской и Пейской рифтогенных впадин, что позволит в дальнейшем уточнить пространственно-временную схему проявления кайнозойского вулканизма на территории Восточного Сихотэ-Алиня.

#### *Краткая геологическая характеристика объектов исследования*

Кедровская рифтогенная впадина географически находится в пределах восточного склона Сихотэ-Алинского хребта в приводораздельной части рек Соболевка и Кузнецова. Она приурочена к Бурматов-

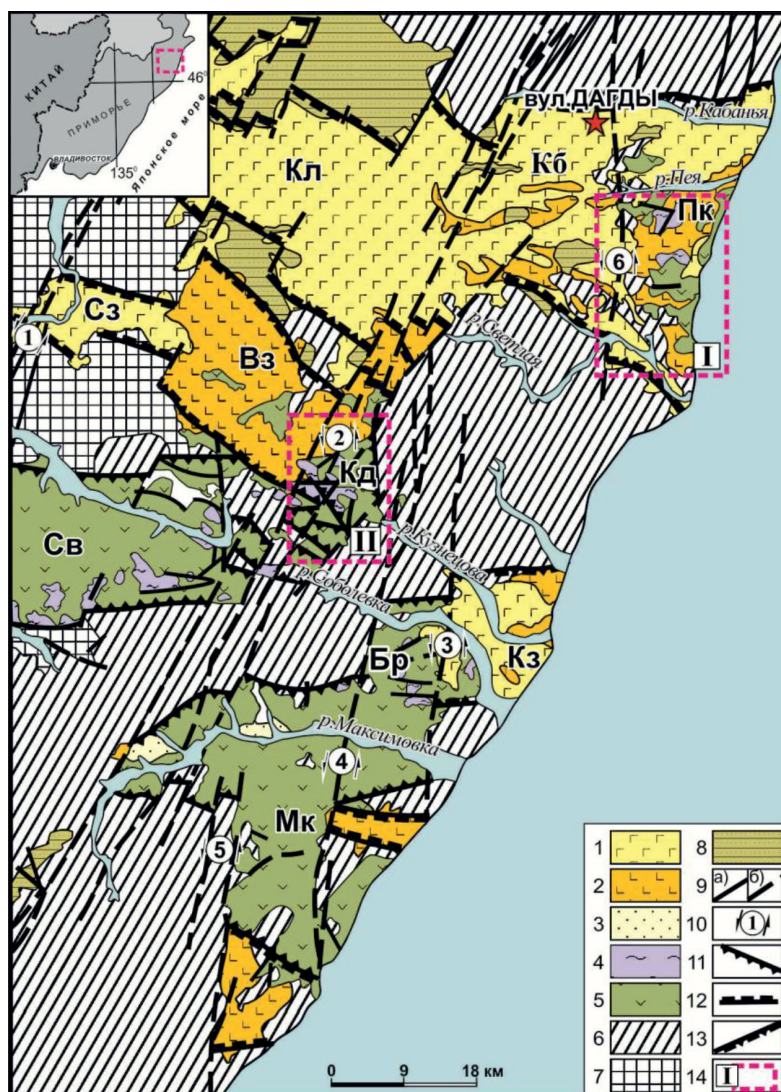
ской сдвиговой зоне северо-восточного простирания, протяженность которой достигает более чем 200 км.

В основании впадины залегают нижнемеловые осадочные отложения Кемского террейна и позднемеловые и палеоценовые магматические комплексы Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Выполнена впадина базальтами, андезитами кузнецовской свиты (палеоцен – раннеэоценовый) и кислыми эффузивами, главным образом риолитового состава, кедровской толщи (эоцен). На северо-западе впадина перекрыта толщей покровных базальтоидов кизинской свиты (ранний-средний миоцен).

Согласно геологическим данным, для вулканогенных образований кузнецовской свиты, выполняющей рассматриваемую впадину, присуща антидромная направленность извержений. Это хорошо проявлено в наиболее изученном типовом разрезе вулканитов свиты, расположенном в устье руч. Кедрового (правый приток р. Кузнецова). Основание разреза здесь сложено лавами андезитов, выше которых залегает пачка переслаивающихся потоков лав андезитов и базальтов. Завершает разрез покров базальтов [5]. Отметим, что возраст кузнецовской свиты в пределах Кедровской впадины определен как палеоцен – раннеэоценовый на основании прежде всего геологических данных.

В целом для структуры характерен преимущественно кислый вулканизм, который нередко носил эксплозивный характер, о чем свидетельствует широкое распространение во впадине пирокластических отложений (кедровская толща). Завершился вулканизм впадины извержением трахидацитов, которые сформировали небольшие лавовые покровы и экструзивные тела. Изотопно-геохронологические данные для пород кедровской толщи рассматриваемой впадины в настоящее время практически отсутствуют.

Пейская впадина расположена на западном побережье Татарского пролива в междуречье Светлой и Пеи. Большая часть депрессии скрыта водами Японского моря. Западный фланг депрессии ограничен Светлинской сдвиговой зоной, а её восточной границей, по-видимому, является зона Берегового разлома. В тектоническом отношении впадина представляет собой сложную кольцевую грабен-кальдеру, возникшую в зоне сопряжения S-образных присдвиговых впадин.



Геолого-структурная схема центральной части Восточного Сихотэ-Алиня по [5].

- 1 – поздний миоцен, совгаванский комплекс, базальты субщелочные и щелочные;  
 2 – ранний-средний миоцен, кизинский комплекс, базальты, андезибазальты и андезиты;  
 3 – олигоцен, максимовская свита, песчаники, туфопесчаники, опоки, угли; 4 – эоцен, кедровский комплекс, липариты, липарито-дациты, туфы липаритов, опоки, туфопесчаники;  
 5 – палеоцен–эоцен, кузнецовский комплекс, базальты, андезиты, дациты, их туфы, туфопесчаники, туфоалевролиты; 6 – поздний мел, приморский, самаргинский вулканоплутонические комплексы, нерасчлененные; 7–8 – ранний мел: терригенные (7) и вулканогенно-терригенные (8) отложения; 9 – главные разломы сдвиговых зон: а – установленные, б – предполагаемые; 10 – сдвиговые зоны первого порядка: 1 – Восточная, 2 – Бурматовская, второго порядка: 3 – Буреминская, 4 – Максимовская, 5 – Амгинская, 6 – Светлинская; 11 – палеогеновые сквозные зоны растяжения; 12 – неогеновые сквозные зоны растяжения; 13 – зоны растяжения длительного развития; 14 – район работ: I – Кедровская впадина, II – Пейская впадина.  
 Буквенные обозначения впадин: Св. – Светловоднинская, Мк – Максимовская, Кд – Кедровская, Кб – Кабанья, Гр – Гранатовая, Сз – Среднезевинская, Кл – Килоуская, Кз – Кузнецовская, Пк – Пейская, Вз – Верхнезевинская, Бр – Буреминская

Фундамент впадины слагают нижнемеловые осадочные образования Кемского террейна, а также перекрывающие их позднемеловые магматические комплексы

Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Впадина выполнена преимущественно вулканогенными образованиями и крайне незначительно осадочными отло-



жениями. Первые из них представлены лавами базальтов и андезитов кузнецовской свиты и кислыми эффузивами (дацитами, риолитами) кедровской толщи, а также залегающими на них базальтоидами кизинской свиты, которые образуют обширные лавовые поля, перекрывающие большую часть впадины. Наряду с ними на северном и западном фланге Пейской впадины фрагментарно развиты оливиновые базальты совгаванской свиты (поздний миоцен). Что касается осадочных отложений, выполняющих впадину, то они представлены небольшими по площади выходами олигоценых алевролитов с прослоями туфопесчаников и туфогравелитов (максимовская свита).

Особенностью развития эоценового вулканизма в пределах описываемой структуры является одновременное проявление кислого и основного вулканизма, о чем свидетельствуют геологические данные. Так, в разрезах береговых обнажений к югу от устья р. Пея наблюдается переслаивание андезитов и андезибазальтов кузнецовской свиты с лавами и туфами риолитового состава кедровской толщи. Изотопные данные по возрасту вулканогенных образований, относимых к кузнецовской свите и кедровской толще Пейской впадины, на сегодняшний день отсутствуют. Их возраст определен на основании геологических данных как палеоцен – ранний эоценовый и соответственно эоценовый.

#### Материалы и методы исследования

Изотопно-геохронологическое изучение эффузивных пород кузнецовской свиты и кедровской толщи было выполнено на основе имеющейся в распоряжении авторов статьи коллекции геологических образцов, собранной в результате многолетних исследований палеогенового вулканизма в рифтогенных впадинах Приморья.

Определение возрастов вулканитов проводилось с использованием метода К-Аг изотопного датирования по валовым пробам, а также мономинеральным фракциям биотита и амфибола. Минералы были получены в результате электромагнитной сепарации и последующей ручной отборки под бинокляром. Отметим, что для датирования пород нами отбирались образцы, которые не имели явных признаков вторичных изменений.

Основной объем К-Аг датировок по «валовому» составу и мономинеральным пробам был получен в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН

(г. Владивосток). Датирование пород проводилось с помощью нового экспрессного К/Аг метода, позволяющего датировать образцы из микронавесок [7; 8]. По этой методике весь процесс выделения, сбора, очистки и измерения аргона осуществлялся в потоке сверхчистого гелия. Для выделения аргона из образцов использовали  $\text{CO}_2$  лазер (10,6 мкм). Изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре Finnigan MAT-253 (Thermo Scientific). Содержание калия в образцах определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии на спектрометре iCAP 7600 Duo.

Помимо этого, часть определений абсолютного возраста была выполнена К-Аг методом по «валовому» составу пород в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН (г. Москва). Содержание радиогенного  $^{40}\text{Ar}$  в образцах определялось на масс-спектрометре МИ-1201 ИГ (СЭЛМИ, Украина) методом изотопного разбавления с моноизотопом  $^{38}\text{Ar}$  в качестве трассера; определение калия – методом пламенной спектроскопии. При расчете возраста использовались общепринятые значения констант [9]:  $\lambda = 0,581 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$ ,  $\lambda = 4,962 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$ ,  $^{40}\text{K} = 0,01167 \text{ (ат \%)}$ .

#### Результаты исследований и их обсуждение

Для геохронологических исследований эффузивных образований кузнецовской свиты, распространенных в пределах Кедровской впадины, нами были взяты образцы вулканитов из типового разреза эффузивов свиты, находящегося в устье ручья Кедрового, а также образец андезитов, слагающих постройку Соболевского палеовулкана, расположенного на юго-западном фланге структуры.

Согласно полученным К-Аг изотопным данным, андезиты, залегающие в нижней части разреза, имеют изотопный возраст  $53,4 \pm 1,5$  млн лет, а андезиты и андезибазальты, взятые выше по разрезу, –  $45,1 \pm 1,2$  млн лет и соответственно  $47 \pm 2$  млн лет. Возраст оливиновых базальтов, завершающих разрез лавовой толщи, составляет  $42,5 \pm 1,5$  млн лет. Сопоставимый с ними возраст имеют андезибазальты, развитые в верховьях ручья Кедрового, –  $43,3 \pm 1,1$  млн лет. Изотопный возраст андезитов Соболевского палеовулкана, полученный нами по «валовому» составу К-Аг методом, составляет  $48,2 \pm 1,5$  млн лет, что в целом соответствует времени формирования вулканитов нижней части разреза кузнецовской свиты.

Исходя из вышеизложенного, а также имеющихся геологических данных, можно утверждать, что для вулканических пород кузнецовского комплекса Кедровской впадины характерна антидромная последовательность извержений. Последняя выражена в дискретной, но направленной смене снизу-вверх по разрезу умеренно-кислых лав (андезиты) на более основные разности вулканитов. В целом же полученные новые К-Аг данные указывают на несколько более молодой возраст эффузивов кузнецовской свиты – 53,4–42,5 млн лет (нижний-средний эоцен), чем ранее предполагавшийся – палеоцен-эоценовый.

Для оценки К-Аг возраста вулканитов кедровской толщи, слагающих одноименную впадину, нами была отобрана серия образцов из различных частей покрова стекловатых трахидацитов, закартированного в верховьях ручья Кедрового, и один образец из лавового потока флюидальных липаритов, расположенного на юго-западном фланге впадины.

Датирование трахидацитов было проведено с использованием монофракции биотита и основной массы, очищенной от минералов. В соответствии с полученными данными значения К-Аг возраста трахидацитов по четырем мономинеральным пробам биотита лежат в интервале 36,5–41,7 млн лет, при среднем значении  $38,3 \pm 0,9$  млн лет. К-Аг дата, установленная по основной массе трахидацитов, равна  $39,0 \pm 2$  млн лет. Однако в целом полученные результаты К-Аг датирования трахидацитов несколько моложе датировки, определенной ранее для этих же пород U-Pb методом по циркону –  $43,2 \pm 1,3$  млн лет [10]. Выполненное К-Аг датирование по «валовому» составу наиболее кислых разностей кедровской толщи – флюидальных липаритов, показало, что последние имеют возраст  $43,9 \pm 1,3$  млн лет.

Таким образом, согласно полученным К/Аг и U/Pb изотопным данным (44–43 млн лет), подтвержден эоценовый возраст магматических образований кедровской толщи, слагающих рассматриваемую впадину. Примечательно, что формирование золото-серебряного месторождения Салют, расположенного в центральной части Кедровской впадины, происходило 42,5–44,4 млн лет назад (Аг-Аг-метод по адуляру) [11], т.е. одновременно с завершением кислого вулканизма на территории этой структуры.

Следует отметить, что полученные нами возрастные характеристики пород кузнецов-

ского и кедровского комплексов Кедровской впадины хорошо согласуются с имеющимися на сегодняшний день немногочисленными изотопными данными о времени проявления базальт-риолитового вулканизма в рифтогенных впадинах Восточного Сихотэ-Алиня. Так, для базальтов суворовской свиты, развитых в пределах Зеркальненской впадины, согласно К-Аг определениям, был установлен возраст  $47,3 \pm 1,2$  млн лет [12] и  $45,8 \pm 1,1$  млн лет [13]. Полученные позже для этих же базальтов две новые К-Аг датировки  $45,7 \pm 1,8$  и  $45 \pm 2,0$  млн лет [14] полностью согласуются с ранее опубликованными датами. Помимо этого, известно несколько изотопных датировок для кислых пород бимодального вулканизма Восточного Сихотэ-Алиня. В частности, для липаритов и трахиандезитов Ванчинской впадины, в соответствии с К-Аг датировками, установлен возраст  $44,7 \pm 1,0$  млн лет и соответственно  $43,0 \pm 4,0$  млн лет [10]. В целом же предполагается, что бимодальный базальт-риолитовый вулканизм на территории Восточного Сихотэ-Алиня проявился в раннем-среднем эоцене. Между тем выполненные нами исследования кайнозойских магматических образований Пейской рифтогенной впадины дают основание говорить о необходимости корректировки этого предположения.

Как отмечалось выше, изотопно-геохронологические изучения вулканитов, слагающих Пейскую впадину, до настоящего времени не проводились, и поэтому их возраст во многом остается неопределенным. В этой связи нами было выполнено К/Аг датирование образцов вулканитов, традиционно относимых к кузнецовской свите и кедровской толще.

Возраст основных пород кузнецовской свиты Пейской впадины был охарактеризован четырьмя образцами базальтоидов, отобранных из лавовых потоков, закартированных в береговых обнажениях к югу от устья р. Пейя, а также из покровов базальтов и андезибазальтов, расположенных в бассейне р. Пленница. Полученные значения К-Аг возраста по валовому составу пород для проанализированных базальтов и андезибазальтов лежат в весьма узком интервале 32–35 млн лет, соответствующем верхнему эоцену – нижнему олигоцену, что указывает на более молодой возраст их формирования, чем ранее предполагалось. Следует отметить, что полученные датировки вполне соответствуют изотопному возрасту базальтов ( $36,1$ – $33,6$  млн лет, К-Аг метод) встре-

чающихся в береговых обнажениях Татарского пролива на участке между бухтами Незаметная и Птичья [12].

Для оценки возраста умеренно-кислых пород рассматриваемой свиты нами был опробован поток андезитов в среднем течении р. Пленница, а также экструзивное тело аналогичного состава в бассейне ручья Бакланий. Полученные для них по валовым пробам К-Аг датировки дали значения возраста  $33,1 \pm 0,9$  и  $31 \pm 2$  млн лет соответственно. Примечательно, что близкими к ним по времени излияния оказались лавы андезитов и дацитов вулкана Дагды, расположенного на удалении 10 км к северо-западу от Пейской впадины. Так, по данным К-Аг датирования (по амфиболу), их возраст составляет 36,6–34,9 млн лет и соответственно 37,8–34,3 млн лет.

Для определения абсолютного возраста кислых пород, относимых к кедровской толще Пейской впадины, нами было выполнено К-Аг датирование двух даек трахириолитов, внедрение которых, согласно существующим представлениям, происходило на заключительном этапе активности кислого вулканизма структуры. Результаты исследований показали, что дайка трахириолитов, прорывающая покровы андезибазальтов кузнецовской свиты в устье р. Пейя, сформировалась на границе верхнего эоцена и нижнего олигоцена. Обратим внимание, что полученные датировки для изученной дайки как «по валу», так и по монофракции биотита имеют практически идентичные значения  $32,1 \pm 0,8$  млн лет и соответственно  $33,7 \pm 0,8$  млн лет, что может свидетельствовать о достоверности полученного возраста. Близкий К-Аг возраст по биотиту ( $34,1 \pm 1,2$  млн лет) определен и для второй дайки трахириолитов, закартированной в среднем течении р. Пленница. Ранее кислые образования кедровской толщи, выполняющие Пейскую впадину, относили к эоцену.

Отметим, что полученные близкие К-Аг датировки для базальтоидов и риолитов Пейской впадины указывают, что извержение вулканитов основного и кислого состава здесь происходило в течение очень короткого интервала времени (~4 млн лет), т.е. почти синхронно.

Таким образом, в результате геохронологических исследований было установлено, что возраст изученных базальтов и андезитов Пейской впадины составляет 35,0–31,3 млн лет, а прорывающих их риолитов – 34,1–32,1 млн лет, что значительно

моложе возраста близких им по составу вулканитов кузнецовской свиты и кедровской толщи, слагающих стратотипические разрезы в пределах Кедровской впадины.

### Выводы

1. Результаты изотопного датирования показали, что базальты и андезиты Кузнецовской свиты, выполняющие Кедровскую впадину, формировались в нижнем и среднем эоцене, а не в палеоцен-эоцене, как ранее предполагалось. Возраст кислых пород кедровской толщи, согласно К-Аг и U-Pb датировкам (44–43 млн лет), здесь соответствует эоцену, что не расходится с существующими представлениями.

2. Формирование базальтов и риолитов, относимых в пределах Пейской впадины к кузнецовской свите и кедровской толще, по данным К-Аг датирования, происходило в узком временном интервале (35–32 млн лет), соответствующем верхнему эоцену – нижнему олигоцену. Ранее их возраст считался палеоцен-раннеэоценовым и соответственно эоценовым. В этой связи представляется необходимым базальты, андезиты и риолиты Пейской кальдеры выделять в качестве самостоятельного стратона.

3. Полученные на сегодняшний день новые данные по К-Аг датированию магматических комплексов, слагающих Пейскую и Кедровскую впадины, с учетом ранее опубликованных геохронологических данных по другим рифтогенным депрессиям позволяют выделить два этапа проявления базальт-риолитового вулканизма в кайнозойских рифтогенных впадинах центральной части Восточного Сихотэ-Алиня – ранне-среднеэоценовый (53–39 млн лет) и позднеэоцен-олигоценый (35–32 млн лет).

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, гранта мол\_а №18-35-00180.*

### Список литературы / References

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.  
Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the Russian East / Pod red. A.I. Xanchuka. Vladivostok: Dal'nauka, 2006. Kn. 1. 572 p. (in Russian).
2. Ханчук А.И., Иванов В.В. Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 11. С. 1635–1645.  
Khanchuk A.I., Ivanov V.V. Meso-Cenozoic geodynamic settings and gold mineralization of the Russian Far East Russian // Geologiya i geofizika. 1999. V. 40. № 11. P. 1607–1617 (in Russian).
3. Мартынов Ю.А., Ханчук А.И. Кайнозойский вулканизм восточного Сихотэ-Алиня: результаты и перспективы

- петрологических исследований. // Петрология. 2013. Т. 21. № 1. С. 94–108. DOI: 10.7868/S0869590313010068.
- Martynov Yu.A., Khanchuk A.I. Cenozoic Volcanism of the Eastern Sikhote-Alin: Petrological Studies and Outlooks. *Petrology*. 2013. V. 21. № 1. P. 85–99. DOI: 10.1134/S0869591113010049.
4. Mann P., Hempton M.R., Bradley D.C., Burke K. Development of pull-apart basins. *Journal of Geology*. 1982. Vol. 91. P. 529–554.
5. Попов В.К. Петрология палеоген-неогеновых вулканических комплексов Восточного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВО РАН СССР, 1986. 156 с.
- Popov, V.K. Petrology of the Paleogene-Neogene volcanic complexes in the Eastern Sikhote-Alin. Vladivostok: Dalnauka, 1986. 156 p. (in Russian).
6. Мартынов Ю.А. Петрология эоцен-миоценовой контрастной формации Нижнего Приамурья. Владивосток, 1983. 143 с.
- Martynov, Yu.A. Petrology of the Eocene–Miocene Contrasting Formation of the Lower Amur River Area. Vladivostok, 1983. 143 p. (in Russian).
7. Ignatiev A.V., Velivetskaya T.A., Budnitskiy S.Y. A continuous flow mass spectrometry technique of argon measurement for K/Ar geochronology. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 2009. V. 23. Issue 16. P. 2403–2410. DOI: 10.1002/rcm.4017.
8. Budnitskiy S.Y., Ignatiev A.V., Velivetskaya T.A. Method for Measurement of Argon Isotopes in Helium Flow for K/Ar Geochronology. *Mineralogical Magazine*. 2013. V. 77. № 5. P. 788.
9. Steiger R.H., Jäger E. Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmology. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1977. V. 36. P. 359–361. DOI: 10.1016/0012-821X(77)90060-7.
10. Чекрызов И.Ю., Попов В.К., Паничев А.М., Середин В.В., Смирнова Е.В. Новые данные по стратиграфии, вулканизму и цеолитовой минерализации кайнозойской Ванчинской впадины, Приморский край // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 4. С. 45–63.
- Chekryzhov I.Yu., Popov V.K., Panichev A.V., Seredin V.V., Smirnova E.B. New data on the stratigraphy, volcanism, and zeolite mineralization of the Cenozoic Vanchinskaya depression in primorye. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2010. V. 4. № 4. P. 314–330. DOI: 10.1134/S1819714010040044.
11. Иванов В.В., Попов В.К. Кислый магматизм, возраст и вещественные особенности золото-серебряного оруденения Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса // Тезисы докладов Всероссийского совещания «Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики». Магадан, 1997. С. 106–107.
- Ivanov V.V., Popov V.K. Silicic magmatism, age and features of gold-silver mineralization of the Eastern Sikhote-Alin volcanic belt // *Tezisy dokladov Vserossiyskogo soveshaniya «Zolotoe orudnenie i granitoidny'j magmatizm Severnoj Pacifiki»*. Magadan, 1997. P. 106–107 (in Russian).
12. Okamura S., Martynov Y.A., Furuyama K., Nagao K. K–Ar ages of the basaltic rocks from Far East Russia: constraints on the tectono-magmatism associated with the Japan Sea opening. *The Island Arc*. 1998. V. 7. P. 271–282. DOI: 10.1046/j.1440-1738.1998.00174.x.
13. Yo-ichiro Otofuiji, Takaaki Matsuda, Tetsumaru Itaya, Takeshi Shibata, Michiko Matsumoto, Takahiro Yamamoto, Chiyo Morimoto, Ruslan G. Kulinich, Petr S. Zimin, Anatoly P. Matunin, Vladimir G. Sakhno, Katsuhiro Kimura Late Cretaceous to early Paleogene paleomagnetic results from Sikhote-Alin, Far Eastern Russia: implications for deformation of East Asia. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1995. V. 130. P. 95–108. DOI: 10.1016/0012-821X(94)00254-V.
14. Павлюткин Б.И., Чекрызов И.Ю., Петренко Т.И. Проблемы стратиграфии палеогена-неогена Зеркальненской впадины (Восточный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеанская геология. 2016. Т. 35. № 4. С. 49–64.
- Pavlyutkin B.I., Chekryzhov I.Yu., Petrenko T.I. Problems of Paleogene–Neogene stratigraphy of the Zerkal'naya depression, East Sikhote Alin. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2016. V. 10. № 4. P. 283–298. DOI: 10.1134/S1819714016040072.