

УДК 551.21

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИЗВЕРЖЕНИЯ И ВОЗРАСТ АНЮЙСКОГО ВУЛКАНА (ЧУКОТКА)

*М.М. Певзнер¹, Д.О. Герцев¹, П.И. Федоров¹, Ф.А. Романенко²,
Ю.В. Кущева¹*

¹Геологический институт РАН, Москва, 119017, *m_pevzner@mail.ru*

²МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет

Изучены отложения и реконструирована последовательность извержения лав и пирокластики Анюйского вулкана. Установлен изотопный возраст извержения ($0,248 \pm 0,030$ млн. лет). Выделен последний эпизод активизации вулканизма на Северо-Востоке России $0,2-0,3$ млн. л.н.

Введение

Анюйский вулкан ($67^{\circ}10'27''$ с.ш., $165^{\circ}50'08''$ в.д., 1054 м) расположен в континентальной части западной Чукотки, в бассейне р. Большой Анюй, в истоках р. Монни («Каменная река»). Шлаковый конус прорывает северный склон г. Вулканной (1585 м) – одной из вершин Южно-Анюйского хребта.

Вулкан известен с 1952 года, когда он был обнаружен в ходе аэрофотосъемки. Первые сведения о нём принадлежат Е.К. Устиеву [22-25], экспедиция которого в 1953 г. прошла весь лавовый поток (56 км) вплоть до шлакового конуса и детально описала это уникальное для Чукотки образование. С тех пор вулкан получил несколько названий: Анюйский, Монни, Молодых, Устиева, но именно Е.К. Устиевым вулкан был назван Анюйским, и мы предпочитаем придерживаться этого названия. По данным Ю.М. Довгаля и М.Д. Часовитина [8] в 1962 г. геологом А.Т. Хитруновым на северо-западном склоне г. Вулканной были обнаружены глыбы андезибазальтов «побочного конуса», впоследствии [9] названные Малым Анюйским вулканом. На сегодняшний день есть еще несколько работ, посвященных изучению состава вулкаников [3, 7, 16, 20, 21 и др.], к сожалению, ни в одной из них нет ни карт с указанием мест опробования, ни GPS или топографических привязок отобранных образцов. Карта вулкана опубликована только Е.К. Устиевым [24], другие авторы либо пользуются ею, либо ограничиваются собственными схемами. При этом последовательность излияния лавовых потоков у разных исследователей может отличаться.

На основании хорошей морфологической сохранности, отсутствия следов ледниковой обработки и незадернованности лавового потока и конуса Е.К. Устиев [24] предположил, что вулкан образовался первые сотни лет назад. Подавляющее большинство исследователей придерживаются аналогичного мнения о его возрасте или – по крайней мере – относят его к голоцену [например, 1, 2]. Приводятся и свидетельства местных жителей о том, что поток якобы дымился еще на их памяти [6]. В.А. Игнатъев и В.И. Сизых [9, 12,] по соотношению с ледниковыми формами обосновывали возраст вулкана как позднесарганский. В публикациях [20, 21] упоминается, что возраст вулканов Балаган-Тас и Устиева – $0,2-0,4$ млн лет; однако в этих работах отсутствуют первичные данные изотопного датирования, а ссылки на таковые не приводятся. По нашим данным (К-Аг метод, ГИН РАН), Анюйский вулкан образовался около 250 тысяч лет назад ($0,248 \pm 0,030$ млн. лет) [17].

Таким образом, на сегодняшний день Анюйский вулкан оказался крайне слабо изучен. И это привело к тому, что извержение «обросло» целым комплексом мифов, которые перекочевывают из одной публикации в другую. Главные из них: (1) Поток, вложенный в долину реки Монни, имеет трещинное происхождение; (2) Анюйский вулкан – полигенный, разница в возрасте ранних и поздних потоков может достигать нескольких сотен тысяч лет; (3) Последовательность излияния лав свидетельствует об антидромной направленности развития извержения; (4) Возраст вулкана исторический (300-500 лет), в крайнем случае – голоценовый.

В настоящей публикации мы обсудим эти темы и постараемся найти реальные геологические обоснования возраста и типа извержения Анюйского вулкана.

Анюйский вулкан входит в одноименную группу, включающую также вулканы Алучинский и Билибина. Анюйская группа вулканов расположена в пределах Южно-Анюйской сутуры, которая находится на границе Северо-Американской и Евразийской плит; и вблизи Охотско-Чукотского вулканического пояса [14, 19 и др.]. В плиоцен-четвертичное время на территории Северо-Востока России вулканическая активность была относительно низкой [1, 13]. При этом большая часть известных вулканических проявлений этого возраста локализуется вблизи границ плит с высокой сейсмичностью (Рис. 1). Анюйская же группа вулканов занимает внутриплитное положение.

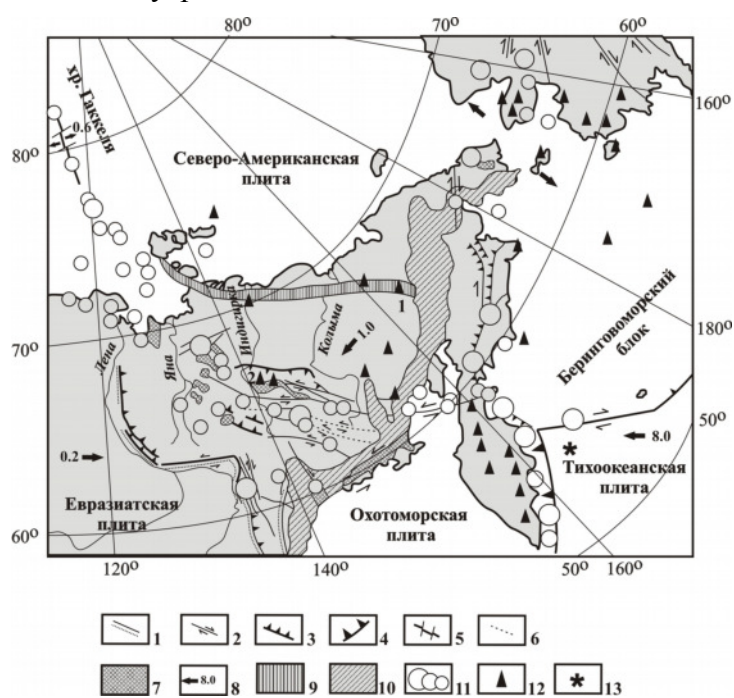


Рис. 1. Центры неоген-четвертичного вулканизма Северо-Востока Азии и Аляски на карте современной геодинамики [13] с изменениями по [1, 5, 14].

1-3 – активные разломы: 1 – сбросы, 2 – сдвиги, 3 – надвиги; 4 – границы зоны субдукции; 5 – спрединговая зона хр. Гаккеля; 6 – пассивные разломы; 7 – кайнозойские впадины; 8 – направление и скорость движения отдельных плит и блоков, см/год; 9 – Южно-Анюйская сутура; 10 – Охотско-Чукотский вулканический пояс; 11 – эпицентры землетрясений с магнитудой >7.0, 6.0-6.9, < 6.0; 12 – вулканические центры миоцен-четвертичного возраста, в том числе: 1 – Анюйская

группа (вулканы Анюйский, Алучинский, Билибина), 2 – Балаган-Тас; 13 – расположение скважин из работы [30].

Шлаковый конус вулкана прорывает крупную раннемеловую интрузию (г. Вулканная), которая расположена в поле осадочных пород позднего триаса (Рис. 2). Возраст гранитов г. Вулканной по данным U-Pb (SHRIMP-RG) датирования $108,5 \pm 2,7$ млн. лет [29]. В районе

исследований магматическая активность установлена в поздней юре (киммеридж - титон) и раннем мелу (валанжин) [6], т.е. около 155-135 млн. л.н.

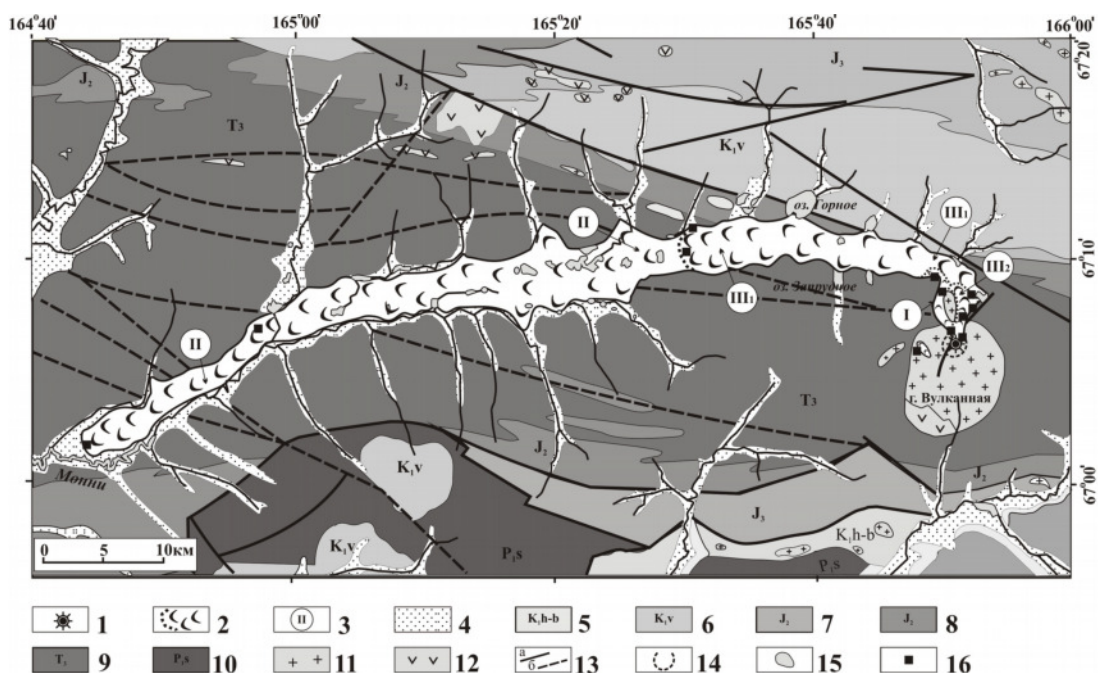


Рис. 2. Фрагмент Геологической карты масштаба 1:200 000. Лист Q-58-IX, X [6].

1-3 – Анюйский вулкан: 1 – шлаковый конус, 2 – лавовые потоки, 3 – эффузивные стадии (I, II, III₁, III₂) пояснения см. в тексте; 4-10 – Отложения осадочного чехла: 4 – верхнечетвертичные аллювиальные; 5-6 – раннемеловые, ярус: 5 – готерив-баремский (K1h-b); 6 – валанжинский (K1v); 7 – позднейюрские (J3); 8 – среднеюрские (J2); 9 – позднетриасовые (T3); 10 – раннепермские, сакмарский ярус (P1s); 11-12 – интрузивные массивы мелового возраста: 11 - гранодиориты и дайки гранодиорит-порфиров; 12 - диориты, кварцевые диориты, диорит-порфиры; 13 – крупные тектонические контакты: а – достоверные, б – предполагаемые; 14 – обвальный цирк г. Вулканной; 15 – озера; 16 – точки отбора проб, результаты см. рис. 4.

Реконструкция извержения

Согласно Е.К. Устиеву [24] извержение началось в долине реки с «трещинного» потока. Мы провели дешифрирование аэрофото- и космических снимков и – с учетом привязки опробованных лав – предлагаем свою схему реконструкции извержения Анюйского вулкана (Рис. 2).

Шлаковый конус Анюйского вулкана находится в крупном сложнопостроенном обвальном цирке (Рис. 2). При этом южные склоны г. Вулканной, равно как и других окрестных гор, не имеют подобных форм. Весьма вероятно, что этот обвал был вызван сейсмической подготовкой в процессе подъема магмы к поверхности.

Извержение началось с излияния лавового потока, стекавшего от конуса по северо-западному кулуару, далее он повернул в долину р. Монни; назовем его *Поток I* (Рис. 2). Предпо-

жительно, этот Поток распространился не менее чем на 20 км от конуса. Не погребенные участки Потока I представлены главным образом лавами-пахозоэ с характерными для них признаками: волнообразной поверхностью, часто скрученной в складки, наличием большого количества туннелей и труб (иногда с проваленной кровлей), фрагментами канатных лав, блестящей стекловатой коркой.

Следующие стадии извержения представлены лавовыми потоками, стекавшими от конуса в северном направлении. *Поток II* – Е.К. Устиев называл его «трещинным» [24] – имеет наибольшую протяженность (56 км). Исток потока скрыт более поздними лавами, но наиболее удаленные участки сформированного лавового поля сохранились в первоначальном виде на расстоянии в 36 км. Поток II состоит из лав разных типов: аа, пахозоэ и глыбовых. Важным морфологическим признаком Потока является наличие большого количества фреатических псевдократеров, образованных в результате контакта горячей лавы с поверхностью, насыщенной грунтовыми водами, либо мерзлой. Средний диаметр псевдократеров составляет около 100 м, а глубина около 10 м. Они часто встречаются группами и вблизи озер.

Образование этого лавового потока Е.К. Устиев связывал с системой трещин протяженностью до 6 км. В районе вулкана он упоминает дайки гранитов, приуроченных к разрывным нарушениям субширотного простирания. На основании этого и предполагалось наличие аналогичных «разрывов продольного характера, возникших (или подновленных) в связи с тектоническими движениями недавнего прошлого» [24, с. 8], с которыми связываются «трещинные излияния лав на дне долины».

Однако на аэрофотоснимках хорошо видно, что на всем протяжении Потока II отсутствуют элементы, которые могли бы образоваться в результате трещинного извержения – нет ни одной линейной структуры с приуроченными к ней шлаковыми и шлако-лавовыми конусами. На рис. 3 показан фрагмент Потока II, где – по мнению Е.К. Устиева [24] – расположены самые крупные трещины. Вдоль северного борта потока действительно можно увидеть продольные структуры, но это скорее морщины гладких лав Потока I, образованные при движении более поздних лавовых порций; своего рода «бульдозерная фация». Соответственно, становится очевидным, что интервал времени, разделявший излияния лав Потоков I и II, был очень небольшим, поскольку лавы Потока I еще сохраняли пластичность. Необходимости в дополнительных эруптивных центрах, чтобы объяснить существование лавового потока длиной 56 км, нет. Протяженные (десятки км) лавовые потоки жидких базальтов, изливающиеся из боков и близрасположенных небольших трещин, довольно часто встречаются в Сибири. Например, 80-километровая «лавовая река» Жом-Болок в Саянах [26, 27]. Возможность образования таких «лавовых рек» обусловлена истечением жидких лав в долинах с большими перепадами высот. Протяженность лавового потока по долине р. Монни от оз. Куколь до фронта около 52 км, а перепад высот около 330 метров. Т.о. среднее падение высоты по долине составляет более 6 метров на километр. Это и позволило жидким базальтовым лавам практически беспрепятственно распространиться на большие расстояния. В работе [12, с. 159] есть упоминание о проведении в 1959 и 1964 гг. аэромагнитных исследований, не под-

твердивших наличие разломов и трещин, из которых мог бы изливаться поток, вложенный в долину Монни.

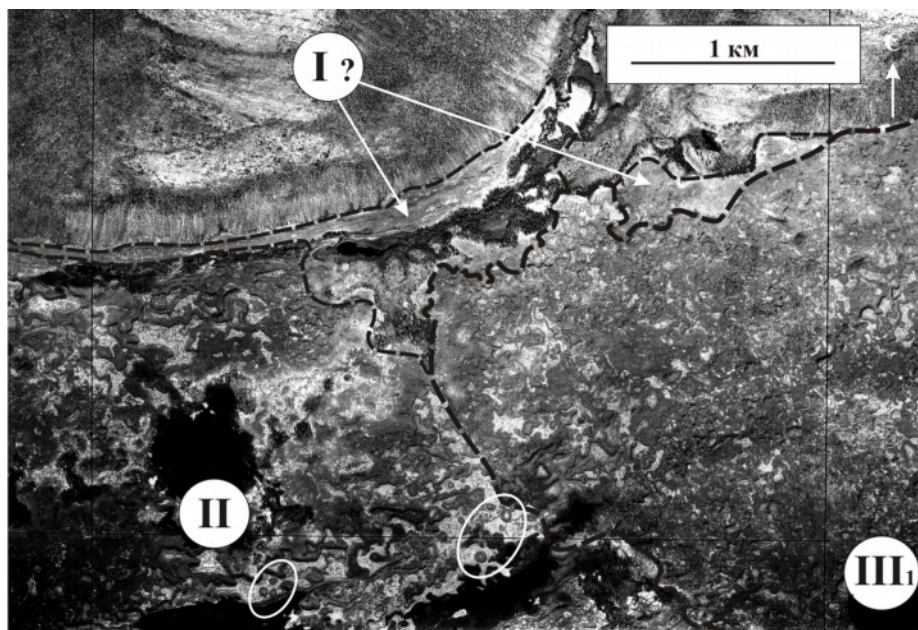


Рис. 3. Фрагменты Потокa I, II, III Аниуйского вулкана (аэрофото). Овалами выделены группы псевдократеров.

Поток III – Е.К. Устиев называл его «главным» [24] – распространился от конуса на 20 км; он состоит из большого количества порций, в том числе видимых в рельефе. В связи с недостаточностью данных и отсутствием привязок для образцов, опубликованных в [3, 7], мы можем выделить в составе *Потока III* только более раннюю стадию (*Поток III₁*): лавы, распространявшиеся по долине р. Монни; и более позднюю стадию (*Поток III₂*): лавы, стекающие от конуса на расстояние до 3,5-4 км, и едва достигшие долины реки.

На космических (см. Google Earth) и аэрофотоснимках (Рис. 3) хорошо видно, что *Поток III₁*, отличается от Потока II практически полным отсутствием псевдократеров. Это свидетельствует о том, что лавы Потока II натекали на насыщенные водой грунты, а лавы Потока III₁ такого контакта уже не имели. Поток III₁ неоднороден: состоит из нескольких последовательных крупных порций. Фронт потока (мощность 15-20 м) хорошо виден на рис. 3. Поток состоит из лав разных типов: аа, пахоэхоэ и глыбовых. По результатам дешифрирования аэрофотоснимков внешне он выглядит несколько более вязким, нежели подстилающий его Поток II.

Поток III₂. К этой порции мы отнесли лавы, стекающие от конуса на расстояние до 3,5-4 км в северном направлении, и остановившиеся на входе в долину. У северного подножия конуса расположена погребенная бокка, которая была центром излияния лав Потока III₂. В осевой части потока расположена небольшая трещина, трассируемая дюжиной маленьких лавовых бокк. Поток представлен в основном обломочными аа-лавами.

Заключительная IV стадия извержения Анюйского вулкана – эксплозивно-эффузивная – связана с работой шлакового конуса и маленькой лавовой бокки, расположенной у его подножия. На этой стадии образовывались *Шлаки и лавы конуса*, распространившиеся до 1 км от кратера. Вероятно, параллельно с Анюйским вулканом проходило извержение и в побочном центре, расположенном на склонах г. Вулканной в полутора км к запад-северо-западу от шлакового конуса (Рис. 2). Это так называемый Малый Анюйский вулкан.

Следует особо подчеркнуть, что выделяемые нами Потоки состоят из огромного количества единичных лавовых порций, т.е. отражают крупные стадии извержения.

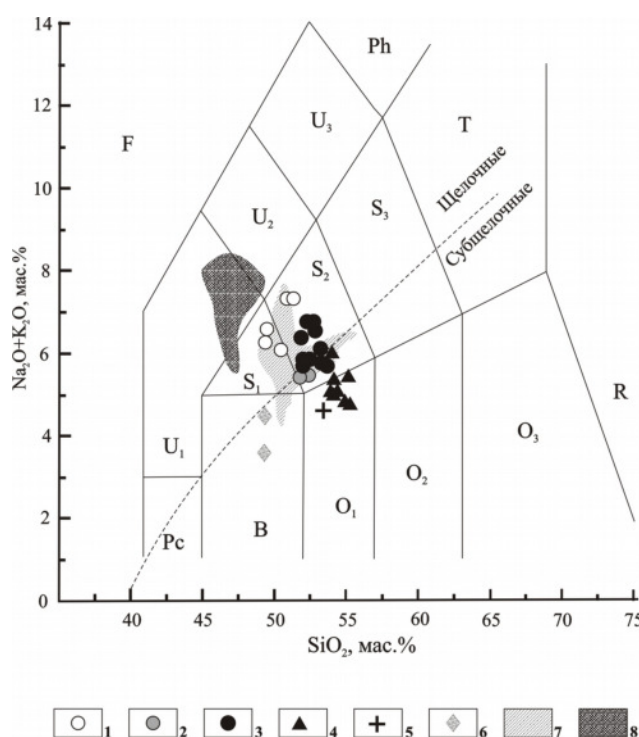


Рис. 4. TAS диаграмма для лав и пирокластики Анюйского вулкана.

1-5 – Анюйский вулкан: 1 – Поток I, 2 – Поток II, 3 – Поток III, 4 – шлаки и лавы конуса; 5 – лавы побочного центра; 6 – лавы вулкана Билибина; 7 – лавы Алучинского потока; 8 – лавы вулкана Балаган-Тас.

Вулканические породы Анюйского вулкана представлены субщелочными трахибазальтами, трахиандезибазальтами и андезибазальтами умеренной магнезиальности (Рис. 4). Проведенная реконструкция последовательности образования лав и привязка образцов к выделенным стадиям позволила наметить, в целом, гомодромную направленность развития извержения. Характерной особенностью эволюции расплавов является ярко выраженная обратная зависимость концентрации калия от накопления кремнезема. На рис. 3 видно, что фигуративные точки составов пород Анюйского вулкана образуют три обособленные области: лавы I-ой стадии, II-ой и III-ей стадии, а также андезибазальты шлакового конуса IV стадии плюс Малый Анюйский вулкан. Сравнение состава пород Анюйского вулкана с положением полей

состава лав позднечетвертичных вулканов Северо-Востока России показывает, что Анюйские лавы в целом близки по петрохимическому составу Алучинскому вулкану и – отчасти – вулкану Билибина, но заметно отличаются от щелочных лав вулкана Балаган-Тас (Рис. 4).

Продолжительность извержения Анюйского вулкана мы оцениваем в месяцы/ первые годы. Во-первых, по аналогии с длительностью исторических извержений сходного типа, а, во-вторых, по ряду геоморфологических особенностей, например, пластическим нарушениям лав Потока I при натекании на них более поздних Потоков II и III₁.

Возраст извержения

Для определения возраста голоценовых извержений во всем мире активно используется тефрохронологический метод [28]. Методика подразумевает обнаружение и датирование в независимых разрезах тефры, ассоциированной с извержением. Нами были опробованы несколько разрезов голоценовых торфяников, расположенных вблизи шлакового конуса. По аналогии с Южным прорывом БТТИ [4], на расстоянии 4 км от кратера мощность тефры Анюйского вулкана должна была бы составлять никак не менее 0,1 м. Однако ни в одном из этих разрезов (равно как и в более удаленных) никаких следов тефры или иной пирокластики – даже в переотложенном состоянии – не было обнаружено.

В 3,8 км от шлакового конуса в основании непрерывного торфяника мощностью 1,6 м нами получена радиоуглеродная дата 4880 ± 60 ¹⁴C л.н. (ГИН-14105). Она свидетельствует об отсутствии извержения на протяжении последних 5600 календарных (калиброванных) лет, что однозначно развенчивает миф об историческом возрасте извержения. Полное отсутствие в районе исследований тефры, а также степень сохранности шлакового конуса (подробнее см. [17]) позволяют уверенно утверждать, что извержение произошло задолго до начала голоцена.

На расстоянии до 1,5 км от конуса на поверхности лав часто встречаются обломки гранитоидов – результаты осыпей и выносов селевых потоков с окружающих крутых склонов. Следов оледенения, более обширного, чем каровое, нам, в отличие от В.А. Игнатьева и В.И. Сизых [9-11], обнаружить не удалось. Полагаем, что довольно хорошая сохранность шлакового конуса и лавовых потоков Анюйского вулкана обусловлена именно этим фактором.

Мы сделали для вулкана серию К-Аг дат. На основании девяти измерений возраст образования Анюйского вулкана составляет $0,248 \pm 0,030$ млн. лет [17]. ⁴⁰Аг/³⁹Аг дата для лав вулкана Балаган-Тас в Якутии составляет $0,266 \pm 0,030$ млн. лет [15]. При этом оба вулканических сооружения (Анюйский и Балаган-Тас) имеют сходную степень сохранности шлаковых конусов. Близкое значение возраста ($277,3 \pm 2,1$ тыс. лет, ⁴⁰Аг/³⁹Аг) получено и для Алучинского потока, входящего в Анюйскую группу вулканов [2].

Эпизоды усиления эксплозивной активности вулканов Северной Пацифики за последние 3 млн. лет выделены по результатам изучения пепловых прослоев в донных осадках северо-западной части Тихого океана [30]. Местоположение скважин показано на рис. 1. Усиление

вулканизма в Камчатском секторе региона отмечается 0,2-0,5; 0,7-0,9; 1,5-1,7 и 2,5-2,65 млн. л.н. [30]. По мнению авторов, эти эпизоды характеризуют не локальные, но крупные региональные закономерности. Мы не располагаем аналогичными данными по восточной части Северного Ледовитого океана или району Берингии. Но вполне допустимо предположить, что крупные региональные или даже глобальные события, вызвавшие активизацию вулканизма в Камчатском секторе Северной Пацифики 0,2-0,5 млн. л.н., также привели и к среднечетвертичной активизации вулканизма на Чукотке (Аньюйский и Алучинский вулканы) и в Якутии (вулкан Балаган-Тас). В этом случае становится очевидным, что возрасты перечисленных объектов (вулканы Аньюйский, Алучинский, Балаган-Тас) и должны быть близки. Установленный стратиграфический возраст трех вулканических центров Северо-Востока России позволяет достаточно обоснованно выделить для этого региона последний эпизод активизации вулканизма 0,2-0,3 млн. л.н. Весьма вероятно, что возраст образования вулкана Билибина, входящего в группу Аньюйских вулканов, окажется в этом же хронологическом интервале, либо будет совпадать с окончанием более ранних эпизодов, выделенных в [30].

Выводы

Реконструирована последовательность крупных фаз извержения лав и пирокластики Аньюйского вулкана. Доказано, что вулкан представляет собой моногенный центр гавайского типа. Извержение произошло в среднем плейстоцене ($0,248 \pm 0,030$ млн. лет). Сопоставление возрастных характеристик вулканов Аньюйского, Алучинского и Балаган-Тас позволило выделить последний эпизод активизации вулканизма на Северо-Востоке России 0,2-0,3 млн. л.н.

Представленные материалы в ближайшее время будут опубликованы в виде полнотекстовой статьи в журнале «Литология и полезные ископаемые».

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № П.3П и темы ГИН РАН № 0135-2014-0068-01201253180, а также проектов РФФИ №№ 08-05-00932 и 14-05-00549.

Список литературы

1. Акинин В.В., Евдокимов А.Н., Кораго Е.А. и др. Новейший вулканизм арктической окраины Северной Евразии // Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы: 8 т. Том 2. М.: ИГЕМ РАН; ИФЗ РАН. 2008. С. 41-80.
2. Акинин В.В., Калверт Э. $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ возраст Аньюйских вулканов, Арктическая Чукотка // Материалы V Российской конференции по изотопной геохронологии «Геохронометрические изотопные системы, методы их изучения, хронология геологических процессов». М.: ИГЕМ РАН. 2012. С. 25-26.
3. Базарова Т.Ю., Вавилов М.А. Физико-химические условия кристаллизации базальтов Аньюйского вулкана // Геология и геофизика. 1989. № 2. С. 46-50.
4. Большое трещинное Толбачинское извержение (1975-1976 гг., Камчатка). М.: Наука. 1984. 637 с.

5. *Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю.* Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1083-1107.
6. Геологическая карта СССР. 1:200 000. Серия Анюйско-Чукотская. Лист Q-58-IX, X. Пояснительная записка. Магадан: Северо-восточное геологическое управление. 1979. 90 с.
7. *Грачев А.Ф.* Четвертичный вулканизм и проблемы геодинамики Северо-восточной Азии // Физика Земли. 1999. № 9. С. 19-37.
8. *Довгаль Ю.М., Часовитин М.Д.* Вулкан Билибина – новый четвертичный вулкан в северо-восточном Приколымье // Геология и геофизика. 1965. № 6. С. 35-46.
9. *Игнатъев В.А.* Новые данные об Анюйской группе вулканов (Западная Чукотка) // Тихоокеанская геология. 1990. № 2. С. 118-121.
10. *Игнатъев В.А.* Структурное положение четвертичных вулканов Западной Чукотки // Вулканология и сейсмология. 1993. № 6. С. 28-37.
11. *Игнатъев В.А., Сизых В.И.* Верхнечетвертичные вулканы Западной Чукотки // Природа. 1997. С. 29-38.
12. *Игнатъев В.А., Сизых В.И.* О некоторых проблемах изучения Большеанюйского неовулканического полигона // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий: В 3 т. Т. 1. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. 2001. С. 158-160.
13. *Имаев В.С., Имаева Л.С., Козьмин Б.М. и др.* Сейсмотектонические процессы на границе литосферных плит северо-востока Азии и Аляски // Тихоокеанская геология. 1998. Том 17. № 2. С. 3-17.
14. *Кораго Е.А., Евдокимов А.Н., Столбов Н.М.* Позднемезозойский и кайнозойский базитовый магматизм Северо-Запада континентальной окраины Евразии. СПб.: ВНИИОкеанология. 2010. 174 с.
15. *Лейер П., Парфенов Л.М., Сурнин А.А. и др.* Первые 40Ar - 39Ar -определения возраста магматических и метаморфических пород Верхояно-Колымских мезозойид // Доклады Академии наук. 1993. Том. 329. № 5. С. 621-624.
16. *Округин А.В., Мохначевский Г.В.* Строение и эволюция состава трахибазальтовых потоков Анюйского вулкана на северо-востоке России // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России». Якутск: ИПК СВФУ, 2013. Том II. С. 60-64.
17. *Певзнер М.М., Герцев Д.О., Романенко Ф.А. и др.* Первые данные об изотопном возрасте Анюйского вулкана, Чукотка // Доклады Академии наук. 2011. Том. 438. № 4. С. 497-499.
18. Пояснительная записка к карте четвертичных образований территории Российской Федерации. Масштаб 1:250000. СПб.: ВСЕГЕИ. 2013. 220 с.
19. *Соколов С.Д., Тучкова М.И., Бондаренко Г.Е.* Тектоническая модель Южно-Анюйской сутуры и ее роль в формировании структур Восточной Арктики // Строение и история развития литосферы. М.: Paulsen. 2010. С. 204-227.
20. *Сурнин А.А.* Кайнозойский вулканизм Северо-Востока Якутии // Геологическое строение и полезные ископаемые Республики Саха (Якутия). Том II. Якутск. 1997. С. 17-19.

21. *Сурнин А.А., Округин А.В., Зайцев А.И.* Глубинные ксенолиты в базальтах Восточной Якутии // Отечественная геология. 1998. Том 6. № 44. С. 44-48.
22. *Устиев Е.К.* Анюйский вулкан и проблемы четвертичного вулканизма на Северо-Востоке СССР // Проблемы Севера. 1958. Вып. 1. С. 85-96.
23. *Устиев Е.К.* Позднечетвертичный вулканизм Южно-Анюйского хребта и Восточно-Азиатская вулканическая провинция. // Труды Лаборатории вулканологии АН СССР. Вып. 13. М.: Изд-во АН СССР. 1958. С. 212-232.
24. *Устиев Е.К.* Анюйский вулкан. М.: Госгеолтехиздат. 1961. 124 с.
25. *Устиев Е.К.* По ту сторону ночи. М.: Мысль. 1966. 191 с.
26. *Ярмолюк В.В., Никифоров А.В., Иванов В.Г.* Строение, состав, источники и механизм долинных излияний лавовых потоков Жом-Болок (голоцен, Южно-Байкальская вулканическая область) // Вулканология и сейсмология. 2003. № 5. С. 41-59.
27. *Ivanov A.V., Arzhannikov S.G., Demonterova E.I. et al.* Jom-Bolok Holocene volcanic field in the East Sayan Mts., Siberia, Russia: structure, style of eruptions, magma compositions, and radiocarbon dating // Bulletin of Volcanology. 2011. V. 73. P. 1279-1294.
28. *Lowe D. J.* Tephrochronology and its application: A review // Quaternary Geochronology. 2011. V. 6. P. 107-153.
29. *Miller E.L., Katkov S.M., Strickland A. et al.* Geochronology and thermochronology of Cretaceous plutons and metamorphic country rocks, Anyui-Chukotka fold belt, North East Arctic Russia // Origin of Northeastern Russia: Paleomagnetism, Geology and Tectonics. Stephan Mueller Publication Series 4. 2009. P. 157-175.
30. *Prueher L.M., Rea D.K.* Tephrochronology of the Kamchatka-Kurile and Aleutian arcs: evidence for volcanic episodicity // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2001. V. 106. P. 67-84.