

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 550.93:552.331.2(234.83)

Возрастные данные формирования трахитовой эксплозивной трубки на Среднем Тимане как проявление завершающей активизации внутриплитного щелочного магматизма калиевой специализации

И.И. Голубева^а, А.В. Травин^б, И.Н. Бурцев^а

^а Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54. E-mail: iigolybeva2@yandex.ru

^б Институт геологии и минералогии СО РАН

630090, Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, д. 3. E-mail: travin@igm.nsc.ru

(Статья поступила в редакцию 29 марта 2024 г.)

Установлен $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом возраст санидина, составляющий 369.7 ± 4.0 млн лет, из высококалиевых трахитовых обломков флюидо-эксплозивной брекчии трубчатого тела, прорывающего базальтовый покров раннедевонского канино-тиманского комплекса. Трахитовый магматизм является завершающим этапом формирования щелочной магматической провинции калиевой специализации на Среднем Тимане.

Ключевые слова: *трахиты, эксплозивный магматизм, Средний Тиман.*

DOI: 10.17072/psu.geol.23.3.201

Введение

На Среднем Тимане внутриплитный магматизм, проявившийся с докембрия до позднего палеозоя, сопровождался характерной для данной магматической формации интенсивной эксплозивной деятельностью. Наиболее крупномасштабное и продолжительное проявление эксплозивного процесса связано с карбонатитовым магматизмом. Минеральные парагенезисы карбонатитов свидетельствуют об их образовании на стадии низкотемпературного гидротермально-метасоматического карбонатитообразования (Костюхин и др., 1987). Петрохимические особенности, а также TR и Nb минерализация карбонатитов предполагают их генетическую приуроченность к формации щелочно-ультраосновных пород *калиевой специализации* (Недосекова и др., 2017). Дайки карбонатизированных

флюидо-эксплозивных пород на Среднем Тимане, парагенетически связанные с карбонатитами, насчитываются в количестве десятков тысяч и приурочены к серии разрывов трещинного типа среди терригенно-карбонатных пород среднего и верхнего рифея (рис. 1 а). Они образовались за счет флюидных дериватов карбонатитового расплава, послуживших транспортировщиком эксплозивного обломочного мантийного материала и средой метасоматического редкоземельно-редкометального минералообразования (Голубева и др., 2019¹; 2021). Около самого карбонатитового тела в экзоконтактах фиксируются широкие – от 10–60 м – зоны дезинтегрированных вмещающих пород, образованные в результате взрывного отделения газов из карбонатитового расплава. Самый ранний возраст проявления активизации щелочно-карбонатитового магматизма в данном регионе

составляет 845 ± 8 млн лет и зафиксирован в альбите из ксенолита фенитизированного

рифейского песчаника, заключенного в флюидо-эксплозивной дайке (Голубева и др., 2019²).

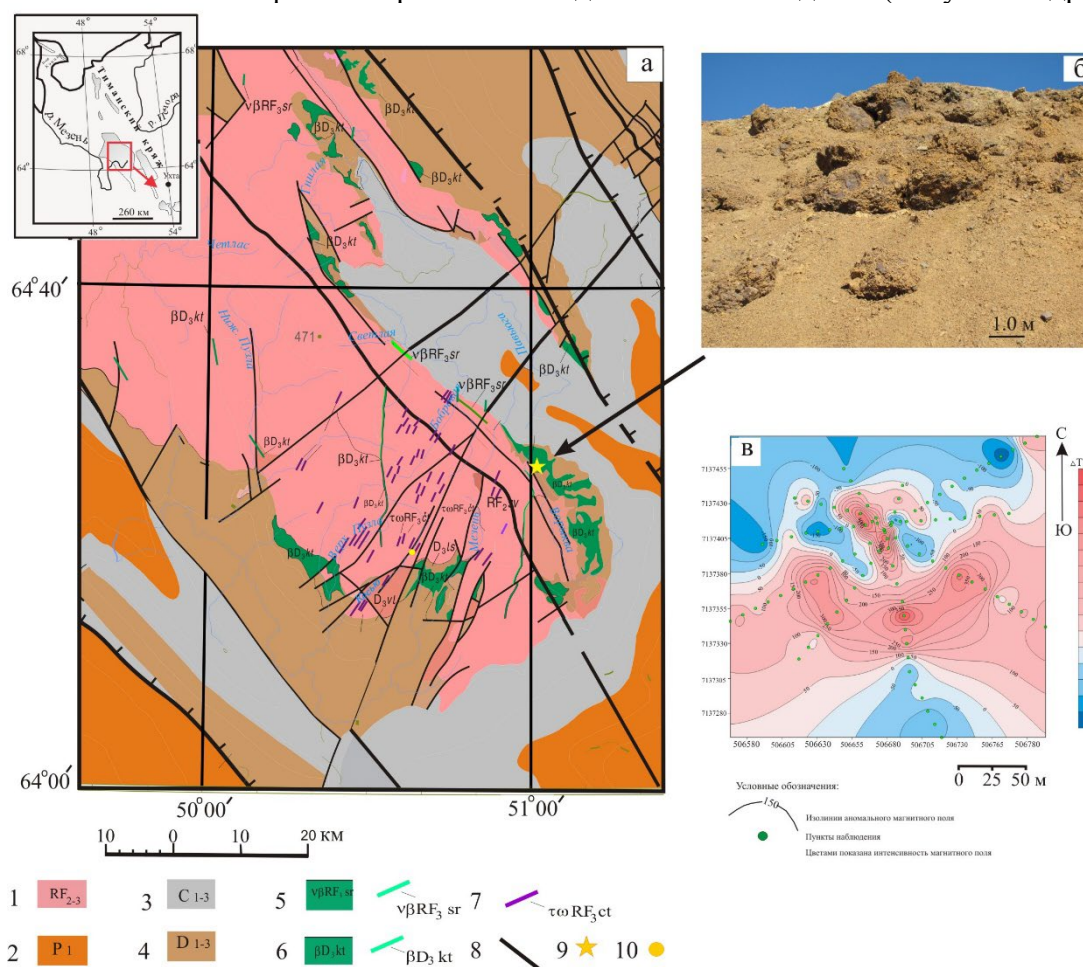


Рис. 1. Геологическая карта Среднего Тимана: а – фрагмент Государственной геологической карты. Авторы: В.М. Пачуковский, Х.Щ. Траат, Р.Я. Миценко и др., 1993 г. 1 – алевролиты, аргиллиты, доломитизированные известняки; 2 – известняки, доломитизированные известняки; 3 – песчаники, алевролиты, аргиллиты; 4 – кварцито-песчаники, алевролиты, сланцы; 5 – метадолериты; б – базальты, долериты; 7 – пикриты (флюидо-эксплозивные дайки по интерпретации авторов статьи); 8 – разломы; 9 – трахитовая трубка в базальтовом покрове; 10 – карбонатитовое тело вне масштаба; б – трахитовые explosive брекчи: стрелкой указано на карте место расположения; в – карта магнитных аномалий: цветом показана интенсивность магнитного поля; 1 – изолинии аномального магнитного поля; 2 – пункты наблюдения; в – геофизическая карта трубчатого тела

Данная датированная фенитизация вмещающих рифейских пород является *предшествующей* внедрению explosive ультрамафитов. Возраст, принятый на сегодняшний день для explosive даек, как и для карбонатитов, и составляющий 600 ± 5 млн лет, является предположительным, так как был определен в обоих случаях по метасоматическому флогопиту, который представляет собой, как оказалось при последних исследованиях, промежуточный продукт метасоматической минерализации (Костюхин и др., 1987).

Процессы флогопитизации в explosive дайках могут достигать в некоторых случаях до полного замещения субстрата с образованием мономинеральных флогопититов. Завершающее время формирования данных магматических тел, а также продолжительность их становления на сегодняшний день не известны. Возрастные данные *постмагматической* фенитизации с редкоземельно-редкометальной минерализацией вмещающих рифейских терригенно-карбонатных пород установлены в пределах 520–488 млн лет (Удуратина и др., 2013; 2023).

Эксплозивная деятельность на Среднем Тимане проявилась также в формировании альнеитовых эксплозивных трубок. Альнеитовые трубки с приблизительным возрастом 382 ± 10 млн лет характеризуются сложным многофазным развитием с субинтрузивными и эксплозивными фациями (Мальков и др., 1993; Тиманский ..., 2010). На рубеже 389 ± 6 млн лет на Среднем и Северном Тимане проявился мощный трапповый магматизм канино-тиманского комплекса, сопровождаемый эксплозивной деятельностью с образованием туфовых толщ мощностью до 180–200 м. Базальтовые покровы в свою очередь прорываются трахитовой дайкой с возрастными данными $293,5 \pm 3,8$ млн лет и трубчатым телом эксплозивных трахитов, послужившим объектом исследования данной статьи (Мальков и др., 2012; Удоратина и др., 2016).

Методика исследования

Микроскопическое изучение пород проводилось в лаборатории петрографии ИГ Коми НЦ УрО РАН (оптический микроскоп OLYMPUS BX 51). Элементный состав определялся методом ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре ELAN 9000 (PerkinElmer Instruments) (ИГиГ УрО РАН, г. Екатеринбург); состав минералов – методом микрозондового анализа на сканирующих электронных микроскопах JSM–6400 JEOL и VEGA3 TESCAN (ИГ Коми НЦ УрО РАН).

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследования проводились в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН (Новосибирск) методом ступенчатого прогрева с использованием системы экстракции и очистки аргона с кварцевым реактором и масс-спектрометром 5400 Микромасс (Травин и др., 2009).

Геологические особенности флюидо-эксплозивной трубки

В базальтовой толще канино-тиманского комплекса в районе Ворыквинской группы бокситового месторождения при заложении карьера было вскрыто трубчатое тело, сложенное эксплозивными брекчиями трахитов (рис. 1 б). В пределах расчистки дна базальтового карьера проведена пешеходная

магнитометрическая съемка и построена карта аномального магнитного поля (рис. 1 в), на которой хорошо выделяется положительная *изометричная* аномалия со значениями 150–350 нТл, что соответствует, скорее всего, раструбу трахитовой эксплозивной трубки с диаметром около 100 м.

В доступном для наблюдения коренном обнажении в стенке карьера хорошо видно, что эксплозивные брекчии контактируют не с базальтами, а непосредственно с ксенолитовыми блоками, транспортированными в верхние горизонты раструба флюидизированной брекчиевой массой из дезинтегрированной рифейской толщи, ранее подстилавшей базальтовый покров (рис. 2 а). В самих трахитовых брекчиях отмечены не ксенолиты базальтов, а лишь округленные обломки кварцевых песчаников. Блоки осадочных пород, перемещенные флюидизированной кластитовой массой в раструбе на гипсометрический уровень базальтового покрова, сохраняют свое первичное горизонтальное залегание (рис. 2 б, д). В каждом эпизоде контактирования ксенолитов осадочных пород с базальтами или с трахитовыми брекчиями проявляются свои особенности. Например, в одном из участков контакта отмечается горизонтально лежащая складка метапелитов, вдавленная в раздробленную стенку базальтового канала (рис. 2 б, е). Складка образовалась в результате смятия фрагмента раздробленного осадочного слоя захваченным и впоследствии перемещенным флюидизированным брекчиевым материалом вверх по раструбу. Затем под напором текущей обломочной массы складка парасланцев была вдавлена в полость трещины-dikes (Кедринский и др., 2017), образованной одновременно с каналом в базальтовом покрове эксплозивным прорывом расширяющегося газа, поступившим из трахитового очага. Данные метапелиты представлены высокотемпературными гранат-кордиритовыми роговиками, залегающими непосредственно в подошве базальтового покрова прежде, чем были взломаны газовым потоком и выведены в зону раструба (рис. 2 к). Кордирит в роговиках по химическому составу отвечает железистой разновидности (табл. 1) и кристаллизуется в виде неправильных пойкилобласт с заливообразными разлапистыми краями (рис. 2 л) с размерностью около

0,2 мм. Его процентное содержание составляет 50 % от объема породы, остальная часть приходится на минералы (в процентном убывании) – кварц, гранат, магнетит, ильменит. Во всех зернах кордиерита диагностируются обильные пойкилитовые включения магнетита и ильменита с элементом примеси ванадия ($V_2O_5 = 0,53-0,83\%$). Гранат группы спессартин-альмандина (табл. 1), представленный гипидиоморфными изометричными зернами (около 0,16 мм), в породе имеет фрагментарное распределение в виде

скоплений (рис. 2 м). Самым крупным представителем среди породообразующих минералов оказался Се-монацит (рис. 4 л) с размерностью 0,6 мм. Расчетные формулы монацита: $(Ce_{0,41} La_{0,21} Nd_{0,11} Pr_{0,02} Sm_{0,01} Th_{0,03} Ca_{0,02})_{0,79} [PO_4]_{0,83} [SiO_4]_{0,17}$; $(Ce_{0,28} La_{0,13} Nd_{0,11} Pr_{0,02} Sm_{0,01} Th_{0,03} Ca_{0,02})_{0,6} [PO_4]_{0,83} [SiO_4]_{0,17}$. Взаимоотношение данного ксенолита метапелитов с вмещающей трахитовой эксплозивной брекчией установить невозможно из-за перекрытия сыпучим материалом разрушенных пород (рис. 2 б).

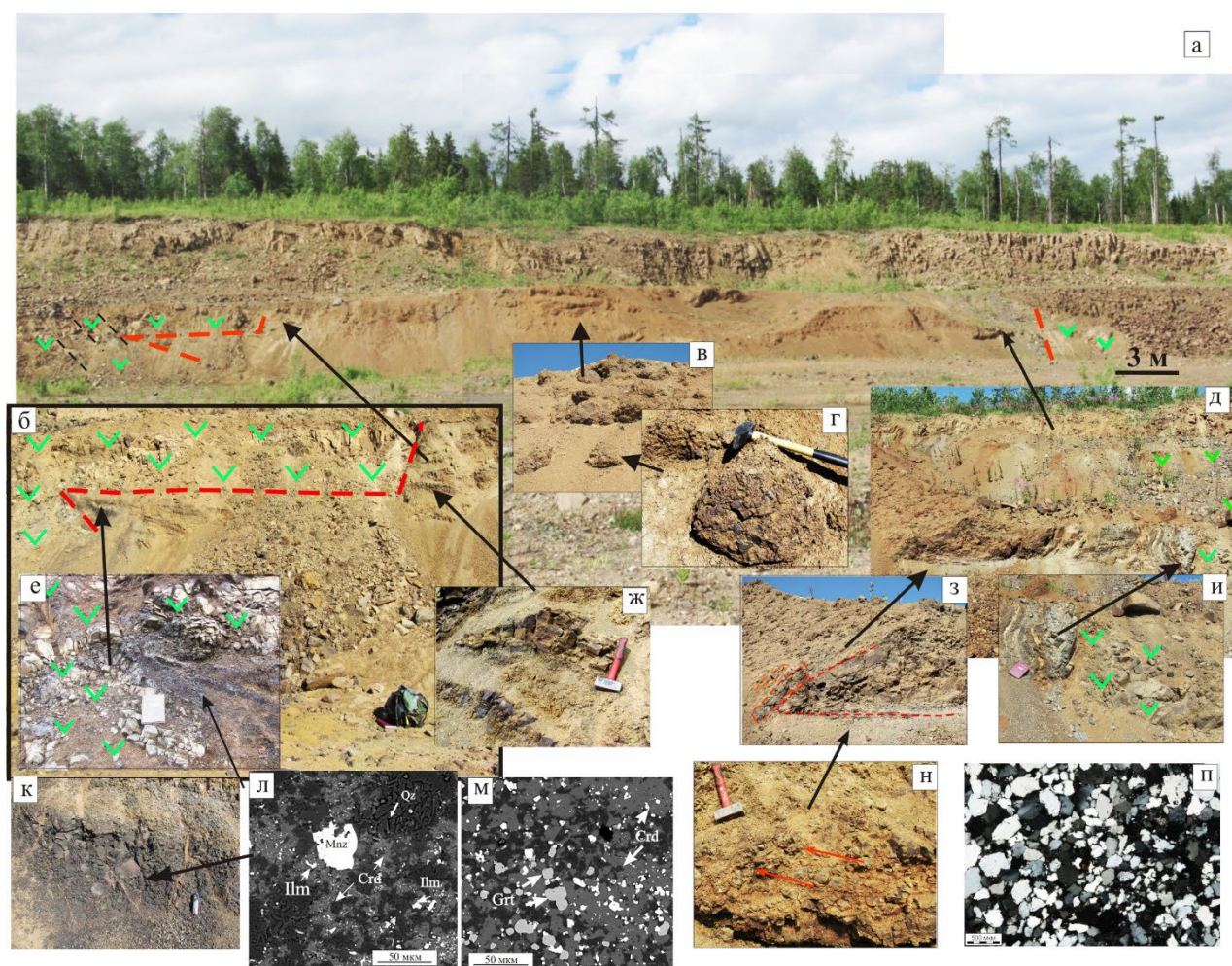


Рис. 2. Геологическое строение трахитовой флюидо-эксплозивной трубки: **а** – стенка карьера; **б** – контакты ксенолитов осадочных пород с базальтовой стенкой трубки; **в** – эксплозивные брекчии: стрелкой указано их положение в трубке; **г** – глыба эксплозивной брекчии: стрелкой указано ее положение в трубке; **д** – ксенолит рифейских кварцевых песчаников: стрелкой указано его положение в трубке; **е** – складка рифейских метапелитов (роговиков), втянутая в раздробленную стенку базальтового канала: стрелкой указано ее положение в трубке; **ж** – фрагмент ксенолита песчаника, инъецированного трахитовым туфом: стрелкой указано его положение в трубке; **з** – обломок-отторжение ксенолита кварцевых песчаников: стрелкой указано его положение в ксенолите; **и** – тектонический контакт ксенолита и стенки канала в базальте: стрелкой указано его положение в ксенолите; **к** – роговик; **л**, **м** – СЭМ – снимки роговика складки; **н** – фрагмент скопления обломков кварцевого песчаника, ориентированных по течению флюидизированной массы; **п** – микрофотография (с анализатором) рифейского кварцевого песчаника из ксенолита

Таблица 1. Химический состав породообразующих минералов роговиков (мас. %)

Минерал № образца	Кордиерит						Гранат					
	13-16			2-16-35			2016-35					
	1-3	2-9	2-10	3-3	3-4	1-8	центр	край	центр	край	центр	край
SiO ₂	42.3	46.6	44.2	45.4	45.3	45.7	36.6	36.6	36.7	37.4	36.3	36.5
TiO ₂	0.4	-	0.3	0.3	0.2	-	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4
Al ₂ O ₃	35.1	32.7	33.0	33.0	35.1	31.3	21.2	21.1	21.3	21.1	30.8	20.8
FeO	18.5	17.6	16.9	17.8	17.0	11.3	21.5	22.1	22.5	21.6	22.5	23.0
CaO	-	-	-	-	1.5	-	1.4	1.5	1.4	1.0	1.4	1.6
MgO	2.4	2.9	2.81	2.66	2.6	4.8	2.7	2.7	2.7	2.8	2.7	2.5
MnO	-	-	-	-	-	3.1	15.8	15.6	15.9	15.3	15.5	15.4
K ₂ O	0.9	0.5	1.1	0.8	0.7	0.3	-	-	-	-	-	-
Сумма	99.5	100.4	98.3	99.9	102.3	96.5	100.4	99.3	100.8	99.6	99.5	100.1
Si	4.47	4.89	4.72	4.79	4.64	4.92	-	-	-	-	-	-
Ti	0.03	-	0.02	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-	-
Al	4.37	4.05	4.15	4.1	4.24	3.97	-	-	-	-	-	-
Fe ⁺²	1.63	1.54	1.51	1.57	1.45	1.02	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	-	-	-	0.28	-	-	-	-	-	-
Mg	0.38	0.45	0.45	0.42	0.4	0.27	-	-	-	-	-	-
Ca	-	-	-	-	0.16	-	-	-	-	-	-	-
K	0.12	0.07	0.15	0.11	0.09	0.04	-	-	-	-	-	-
X(Mg)	0.19	0.23	0.23	0.21	0.21	0.37	-	-	-	-	-	-
Al(4)	1.53	1.11	1.28	1.21	1.36	1.08	-	-	-	-	-	-
Al(6)	2.84	2.94	2.87	2.88	2.88	2.89	-	-	-	-	-	-
Prp	-	-	-	-	-	-	11	11	11	11	11	10
Alm	-	-	-	-	-	-	49	49	48	50	49	50
Sps	-	-	-	-	-	-	36	36	37	36	36	35
Ca- компонент	-	-	-	-	-	-	4	4	4	3	4	5

В другом случае ксенолитовый блок в контакте с базальтами имеет тектоническое взаимоотношение, а в зоне контактирования с взрывной брекчией отмечается межлодочное инъецирование осадочных пород мелкообломочным туфовым материалом (рис. 2 ж). Практически одинаковые структурные особенности осадочных пород и кластитов, затушеванные вторичными изменениями, не позволяют выявить тонкости их взаимоотношений. В ином борту трубчатого тела отмечается ксенолитовый блок рифейских кварцевых песчаников длиной 3,5 м с неустановленной мощностью, контактирующий с базальтами с взаимно вертикальным расщеплением (рис. 2 д, и). Блок песчаника разбит серией параллельных трещин отрыва. Крайний отчужденный скол в контакте с трахитовой брекчией, увлеченный твердо-газовым потоком, смещается по течению и принимает положение под острым углом относительно положения ксенолитового блока (рис. 2 з).

Более мелкие сколы растаскиваются флюидизированной трахитовой обломочной массой, ориентируясь по удлинению согласно течению пирокластического потока (рис. 2 н). Песчаники в ксенолитах не несут признаков термального воздействия (рис. 2 п).

Петрохимический и минеральный состав взрывных брекчий

Взрывные брекчие, обнаженные в стенке карьера, имеют красно-коричневый цвет и рыхлое сложение из-за землистой структуры матрикса (рис. 2 в, г). Породы легко крошатся руками, поэтому коренные породы частично разрушены в виде осыпи. Обломочная часть взрывных брекчий представлена трахитовыми порфирами, реже кластолами и ксенолитами кварцевых песчаников. Цементирующий матрикс сложен тонкодисперсным глинистым материалом, гидроксидами железа и частично хлоритом. Нередко в нем обнаруживаются легко

вынимаемые розовые кристаллики калиевого полевого шпата. Породы подвержены процессам аргиллизации, в большей степени – тонкодисперсный туфовый матрикс. Обломки *трахитовых порфиров* имеют изометричную комковатую форму (реже удлиненную) с темно-коричневой бугристой корочкой (рис. 3 а). В свежих сколах порода обнаруживает светло-коричневый цвет. Максимальные размеры обломков не превышают 3,0–4,0 см. Самые крупные редкие представители с размерностью до 30 см характеризуются, как правило, овальными формами и гладкой поверхностью наподобие осадочным валунам (рис. 3 б, в). В целом концентрация обломков в взрывной брекчии составляет 50–60 % от объема породы. На макроуровне в обломках отмечаются порфиновые, иногда сросшиеся, гипидиоморфные вкрапленники калиевого полевого шпата розового цвета (с размерами до 5–8 мм) в количестве около 5 % (рис. 3 д). Полевой шпат подвержен вторичным изменениям разной степени, до полных псевдоморфоз глинистых минералов (рис. 3 е). Произведенные ранее исследования минерала методом порошковой дифрактометрии установили, что полевой шпат относится к слабо упорядоченному санидину (Голубева и др., 2016). Рентгеноструктурный анализ показал отсутствие альбитовой фазы, что подтверждается и химическим анализом (табл. 2). Матрикс трахитовых порфиров в обломках имеет разную степень раскristаллизации. В одном случае отмечаются лишь отдельные микролиты калиевого полевого шпата с размерностью 0,5–0,8 мм, погруженные в стекло основной массы (рис. 3 з), в другом – стекло диагностируется только в межзерновом пространстве. Обломки трахитов с полностью раскristаллизованным матриксом встречаются редко. В этом случае основная масса порфировых трахитов характеризуется бостонитовой структурой, обусловленной беспорядочно ориентированными и плотно контактирующими друг с другом полевошпатовыми крупными лейстами (рис. 3 к). В трахитах нередко встречаются округлые

миндалины в количестве до 10 %. Они имеют относительно небольшие размеры (0,2–0,5 мм) и заполнены смектит-хлоритовым чешуйчатым агрегатом (рис. 4 а, б) или микрощетками калиевого полевого шпата (рис. 3 ж). Полевой шпат по химическому составу аналогичен порфиновым вкрапленникам пород (табл. 2), но степень упорядоченности его установить не удалось из-за мелкого размера. Акцессорные минералы в породе встречаются редко, представлены рутилом, реже апатитом, цирконом, Се-монацитом, содержащим ThO₂ до 4,5 %. Рутил образует сагенитовый агрегат или коленчатые двойники (рис. 4 г, д). В нем обнаружены элементы – примеси ванадия (V₂O₅ = 1,41–1,55 мас.%). Редкие идиоморфные октаэдрические кристаллы магнетита (рис. 4 в) имеют следующие эмпирические формулы: (Fe_{1,05} Mg_{0,08})_{1,13} (Fe_{1,13} Al_{0,18} Cr_{0,19} Ti_{0,5})₂ O₄; Fe_{1,15} (Fe_{1,15} Al_{0,1} Cr_{0,23} Ti_{0,52})₂ O₄.

Трахитовые лавобрекчии в взрывной брекчии представлены самыми крупными – до 40–50 см – редкими единичными обломками с занозистыми рваными краями и характеризуются пятнистой, пористой и кавернозной текстурами (рис. 3 г). Текстурные особенности лавобрекчий в обломках зависят от степени раскristаллизации. Стекловатые разновидности отличаются высокой пористостью. В этом случае количество полостей может достигать 50–60 % (рис. 3 л). Полости имеют округлую, удлиненную, извилистую червеобразную формы и, как правило, выполнены полевошпатовыми микрощетками, реже халцедоном (рис. 3 м, н, п). В лавобрекчиях с литовитрокластической структурой отмечаются фрагменты ранее раскristаллизовавшегося расплава в виде обломков округлой, угловатой и неправильной формы, отличающиеся между собой разным количеством минерализованных миндалин, морфологическими особенностями, степенью раскristаллизации и характером вторичных изменений. Размерность туфового материала соответствует гранулометрическим параметрам псефитов (2,0–20 мм), псаммитов (0,1–2,0 мм) и алевритов.

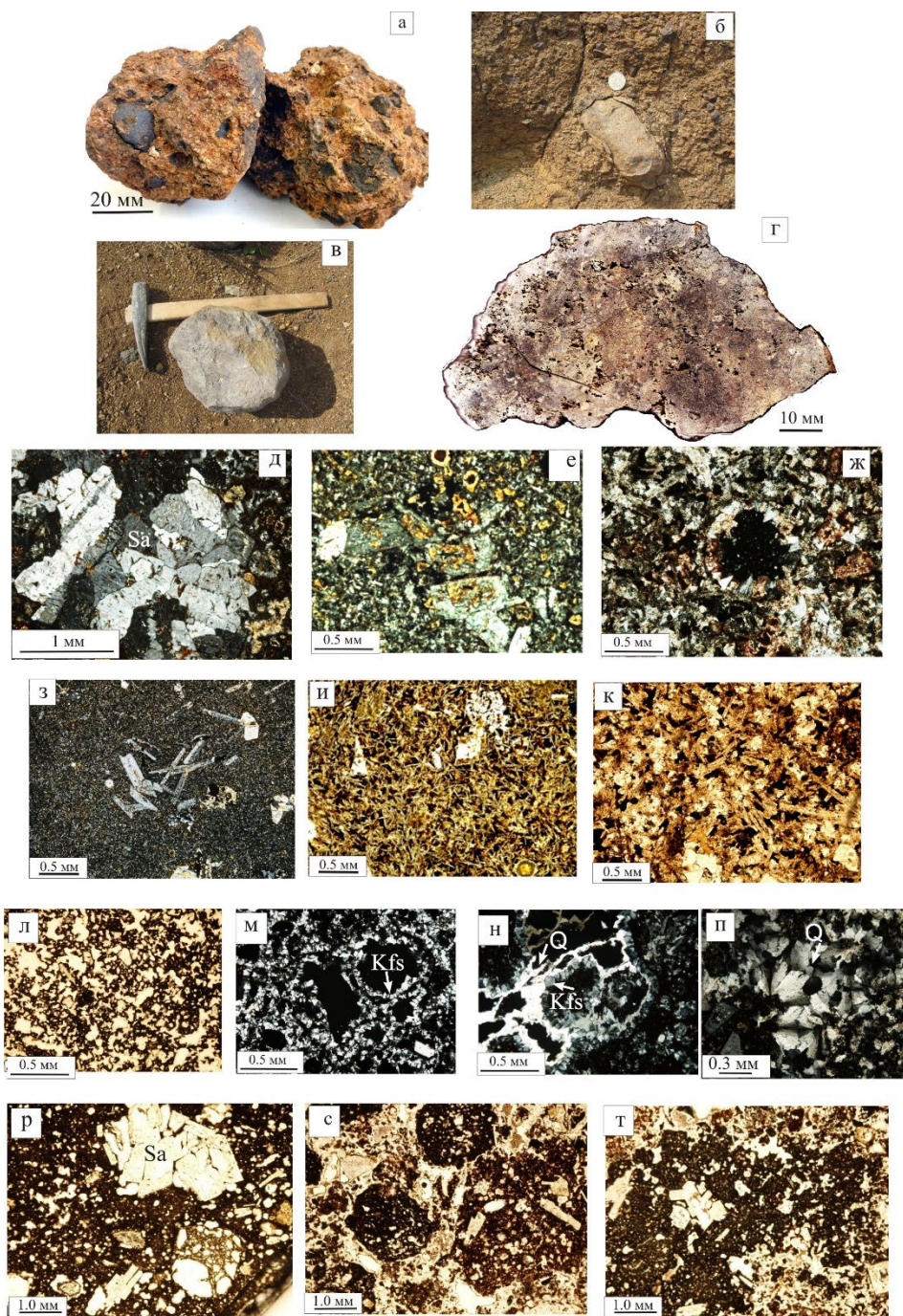


Рис. 3. Петрографические особенности трахитов эксплозивных брекчий: **а** – образцы трахитовых эксплозивных брекчий; **б, в** – округлые обломки трахитов; **г** – отсканированный пришлифованный образец трахитовой лавобрекчи; **д** – порфиновые вкрапленники санидина. Микрофотография с анализатором; **е** – пелитизация санидина. Микрофотография с анализатором; **ж** – микроцетка калиевого полевого шпата в миндалине. Микрофотография с анализатором; **з** – микропорфиновые лейсты калиевого полевого шпата в стекле. Микрофотография с анализатором; **и** – микролитовая структура трахитов. Микрофотография без анализатора; **к** – бостонитовая структура трахитов. Микрофотография без анализатора; **л** – пористая текстура лавобрекчи. Микрофотография без анализатора; **м** – микроцетки калиевого полевого шпата в микрополостях. Фотография с анализатором; **н** – заполнение полостей калиевым полевым шпатом и кварцем. Фотография с анализатором; **п** – заполнение пор халцедоном. Микрофотография с анализатором; **р** – обломки санидина и округлый обломок стекла с пористой текстурой. Микрофотография без анализатора; **с** – брекчиевая структура в трахитовой лавобрекчи. Микрофотография без анализатора; **т** – пластично деформированный обрывок микропорфиrowого трахита с зазубренными краями. Микрофотография без анализатора

Таблица 2. Химический состав калиевого полевого шпата (мас, %)

	14с -2-3 порфиновые вкрапленники			12с-1-1 порфиновые вкрапленники			3с-2 постмагматический в миндалинах		
SiO ₂	61,12	66,23	63,95	65,05	65,05	64,49	66,19	65,79	63,72
Al ₂ O ₃	18,5	20,08	20,51	17,43	18,73	18,84	18,6	19,02	18,7
Na ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K ₂ O	15,35	14,78	14,95	17,31	17,52	13,27	15,97	16,77	16,44
сумма	94,97	101,81	99,41	99,79	97,05	96,6	100,76	101,76	98,86

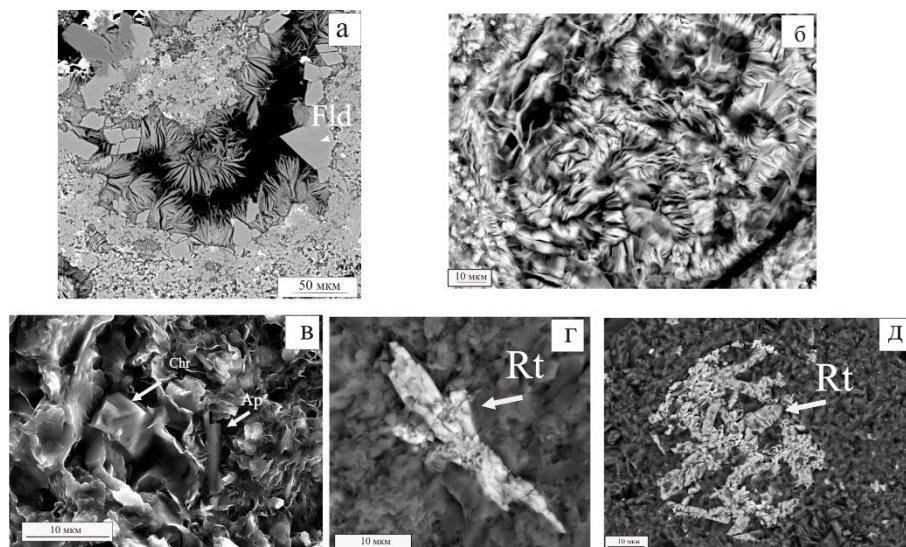


Рис. 4. Минеральный состав трахитов (СЭМ – снимки): **а** – заполнение полостей в трахите хлорит-сметитовым агрегатом и микроцеткой калиевого полевого шпата; **б** – миндалина выполнена хлорит-сметитовым агрегатом.; **в** – кристаллизация апатита (Ap) и хромшпинелида (Chr) в хлорит-сметитовом агрегате; **г** – коленчатый двойник рутила (Rt); **д** – сагенитовые срастания рутила

Границы обломков плохо выражены, поэтому порой затруднительно различить литокласты от цементирующего их матрикса. Остроугольные, причудливо изогнутые обломки размерностью от сотых долей миллиметра до сантиметра имеют спекшиеся контакты в одном случае, в другом – погружены в стекло. Нередко литокласты псефитовой и псаммитовой размерностей обладают сложным строением и представлены пластично деформированными фрагментами лав с включенными в них обломками микропорфировых трахитов ранних извержений (рис. 3 л, м, н).

Петрохимические характеристики трахитов исследуемого взрывчатого тела отличаются от номенклатурных представителей (табл. 3) весьма высоким содержанием калия (K₂O до 11,25 мас.%) и низким показателем натриевости (Na₂O = 0,13–1,27 мас.%). В породах отмечается повышенное содержание

магния (MgO 0,83–5,68 %), титана (TiO₂ до 1,9 %). Практически все железо в породе находится в закисной форме (Fe₂O₃ = 6,3–8,7 %), количество FeO не превышает 0,25 %. Трахиты обогащены (в г/т) V (342) Cr (121,6), Co (42,7), Cu (138,5), Zn (356,8), но обеднены Ba (155), Zr (125), Nb (8,5), Th (0,6), РЗЭ (сумма 63,5–96,01 г/т) (табл. 4).

Таким образом, при формировании взрывчатой трахитовой трубки были изначально взломаны взрывообразным отделением из поднимающегося трахитового расплава газовым потоком толщи базальтового покрова и подстилающие его рифейские осадочные породы. Затем последовало смещение под напором восходящей флюидизированной кластитовой массой трахитов дезинтегрированного осадочного пласта в верхние горизонты образовавшегося раструба.

Таблица 3. Химический состав трахитовых обломков и матрикса эксплозивных брекчий (мас. %)

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ппп
11с2	54,38	1,82	15,59	7,77	-	0,07	3,01	0,98	0,35	9,9	0,22	5,92
11с5-1	54,90	1,64	16,36	7,39	-	0,05	3,47	1,9	1,27	5,58	0,20	6,97
11с5-3	57,10	1,22	14,30	7,65	-	0,06	0,83	3,4	0,38	8,68	0,11	6,19
12с-1	55,99	0,99	15,47	7,70	-	0,04	3,33	0,92	0,41	10,01	0,11	5,04
12с1-1	54,15	1,57	15,73	8,69	-	0,08	3,08	0,85	0,38	10,24	0,18	5,05
12с1-2	55,84	1,75	16,09	6,38	-	0,05	2,79	0,84	0,39	10,93	0,20	4,74
12с2-1	55,87	1,15	15,50	7,05	-	0,04	3,72	0,95	0,40	10,09	0,14	5,09
13с-2	53,99	1,83	15,38	7,55	-	0,07	3,47	1,07	0,62	9,31	0,21	6,50
13с2-1	55,87	1,15	15,5	7,05	-	0,04	3,72	0,95	0,4	10,09	0,14	5,09
14с-4	55,97	1,90	16,25	6,36	-	0,08	2,16	0,84	0,47	11,18	0,24	4,56
14с-6	57,03	1,49	16,07	6,3	-	0,06	2,33	0,82	0,51	11,25	0,18	3,97
13с-1	49,16	1,24	15,35	11,34	-	0,11	5,68	1,57	0,47	12,05	0,13	12,05

Примечание: 13с-1 – образец матрикса брекчий, остальные – обломки массой трахитов блоков дезинтегрированного осадочного пласта в верхние горизонты образовавшегося раструба.

Таблица 4. Элементы-примеси в трахитах (г/т)

Элемент	№ образца						
	12с-2	17с	2015с-1	2015с-6	2015с-7	2016-1	2016-42
Be	0,88	0,78	0,76	1,24	0,75	0,3	0,4
Sc	30,98	28,66	30,73	33,04	25,13	28,7	31,3
Ti	7393,6	7563,01	8261,3	9017,3	69,83	8310,0	7623,7
V	324,5	243,7	268,13	285,8	249,1	342,14	282,27
Cr	93,2	91,6	104,4	113,9	89,7	121,6	101,56
Mn	680,5	373,7	368,8	1174,2	341,2	857,6	921,34
Co	49,7	29,7	33,7	42,7	36,0	23,68	42,74
Ni	72,0	67,6	59,8	68,3	58,7	42,1	63,78
Cu	114,8	110,1	122,0	112,16	110,0	135,96	138,49
Zn	74,5	107,5	123,3	98,74	72,197	356,74	95,3
Ga	18,389	15,98	17,3	22,7	16,4	12,15	19,35
Ge	1,07	2,02	0,86	1,26	0,97	0,84	1,27
As	1,8	1,0	0,8	1,3	1,6	1,97	1,8
Rb	79,6	98,9	110,7	42,5	104,8	76,74	1,75
Sr	52,0	50,2	34,0	165,8	32,95	31,5	171,21
Y	16,4	20,1	26,8	28,78	17,5	26,83	23,9
Zr	96,08	98,89	104,8	154,0	96,6	115,76	104,55
Nb	5,95	6,1	6,8	10,9	5,9	6,36	6,57
Mo	0,16	0,12	0,13	0,5	0,13	0,44	0,34
Ag	0,58	0,39	0,4	0,6	0,3	0,22	0,31
Cd	0,01	0,03	0,22	0,08	0,03	0,03	0,1
Sn	1,6	1,5	1,53	2,1	1,4	1,3	0,1
Sb	0,67	0,4	0,35	0,7	0,41	0,64	0,1
Cs	1,65	0,267	0,69	1,9	0,46	1,2	0,19
Ba	124,09	161,17	139,858	190,5	192,0	217,68	126,89
La	6,7	10,0	11,3	19,96	10,8	14,2	8,6
Ce	13,46	21,68	26,7	43,2	26,3	33,7	20,7
Pr	2,6	3,1	3,5	5,7	3,6	4,7	2,9
Nd	13,4	13,89	15,6	24,3	16,3	21,4	13,0

Таблица 4. Окончание

Элемент	№ образца						
	12с-2	17с	2015с-1	2015с-6	2015с-7	2016-1	2016-42
Sm	3,99	3,6	4,1	5,88	4,3	5,7	3,5
Eu	1,15	1,16	1,33	1,72	1,32	1,6	1,198
Gd	4,58	4,13	4,96	6,4	4,7	7,0	4,3
Tb	0,62	0,62	0,8	0,9	0,65	0,9	0,6
Dy	3,6	4,1	5,3	5,9	4,0	4,58	3,67
Ho	0,67	0,79	1,08	1,2	0,75	0,8	0,7
Er	1,9	2,3	3,1	3,5	2,1	2,0	2,1
Tm	0,2	0,3	0,4	0,46	0,25	0,2	0,3
Yb	1,78	2,06	2,85	3,2	1,78	1,2	1,8
Lu	0,26	0,29	0,4	0,46	0,23	0,2	0,2
Hf	2,88	2,96	3,2	4,66	3,0	2,5	2,2
Ta	0,55	0,52	0,56	0,89	0,52	0,36	0,35
W	0,36	0,16	0,16	5,5	0,46	0,13	0,19
Tl	0,08	0,07	0,12	0,12	0,087	0,08	0,02
Pb	4,2	7,8	5,3	15,3	7,9	1,87	2,0
Th	2,3	2,6	2,9	6,1	2,5	1,67	1,56
U	0,89	0,72	0,78	1,9	0,83	0,6	0,46

Истечение флюидизированного обломочного трахитового материала в трубке было, скорее всего, медленным (не взрывообразным) и прерывистым. Об этом свидетельствуют наличие в центральной части раструба обломков однотипных песчаников размерностью 20–30 см, расположенных во взвешенном состоянии на одном уровне в виде цепочки протяженностью 3,5 м, а также незначительное смещение флюидизированным потоком сколов ксенолитового пласта песчаников, отделившихся непосредственно при заполнении трубки флюидизированной обломочной массой. Пластично деформированная ксенолитовая пластина метапелитов в виде лежащей складки, впоследствии вдавленная в боковую трещину dike базальтовой стенки раструба за счет напора текущей флюидизированной обломочной массы, так же, как и межслойное инъецирование алевролитового ксенолита мелкообломочным туфовым материалом, косвенно подтверждает спокойное истечение флюидизированного брекчиевого материала трахитов. Ксенолиты осадочных пород при перемещении в канале трубки не теряют первичное горизонтальное залегание.

Для оценки возраста пород взрывной брекчии был использован $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метод. Для этого была выделена из обломков трахитовых порфиоров монофракция калиевого полевого шпата с наименьшими вторичными

изменениями. Датирование проводилось методом ступенчатого нагрева (Травин и др., 2009). Результаты геохронологического исследования приведены на рис. 5. В возрастном спектре выделяется надежное плато, характеризующееся 85,9 % выделенного ^{39}Ar и значением возраста $369,7 \pm 4,0$ млн лет.

Высококалиевый трахитовый магматизм проявился на Среднем Тимане и позднее – в раннепермское время ($293,5 \pm 3,8$ млн лет). Трахиты в виде дайки мощностью 50 м (Мальков и др., 2012; Удоратина и др., 2016) прорывают базальты возрастом 389 ± 6 млн лет, послужившие также вместилищем и для исследованной трахитовой флюидо-взрывной трубки. По нашему мнению, установленный возраст обломков трахитов флюидо-взрывной брекчии не совпадает с временем становления самого взрывного трубчатого тела. Скорее всего, формирование флюидо-взрывной трубки произошло позднее, чем кристаллизация датированного обломочного трахита взрывных брекчий, но близко по времени внедрению трахитовой дайки, прорывающей этот же базальтовый пласт. Учитывая, что измеренный возраст близок формированию возрасту альнеитовых трубок, можно предположить, что формирование трахита случилось на раннем этапе – 370 млн лет назад. Позднее,

синхронно с внедрением дайки трахитов, произошли взрывные процессы и формирование трубки (соответственно $293,5 \pm 3,8$ млн лет) из очага высококалиевых трахитов, послуживших источником

взрывообразно отделившихся газов, выработавших в базальтовом пласте канал и увлекших обломки трахитов из дезинтегрированного раскристаллизованного участка возрастом $369,7 \pm 4,0$ млн лет.

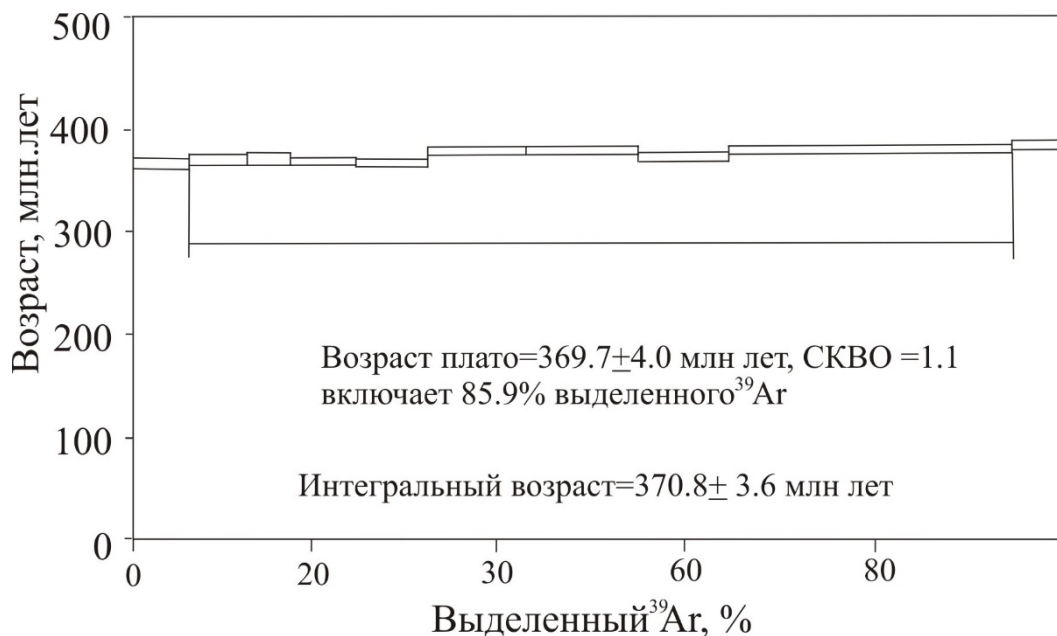


Рис. 5. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования методом ступенчатого прогрева для санидина трахитов

Заключение

Щелочная магматическая провинция калиевой специализации, охватывающая обширную территорию Среднего Тимана протяженностью около 200 км (от реки Верхняя Ворыква Четласского Камня до реки Цильма Цилемского Камня) и включающая карбонаты, многотысячные карбонатизированные флюидо-взрывные фемические дайки и единичные трубки, мощные многокилометровые протяженные минерализованные постагматические фенитизированные зоны, а также щелочные гипабиссальные трахиты, прорывающие раннедевонские базальтовые покровы, формировалась продолжительностью в несколько сотен млн лет. Инициальный этап с возрастом $845,1 \pm 8$ млн связан с активизацией карбонатитового магматизма, относимого к формации щелочно-ультраосновных пород калиевой специализации, а завершающие стадии – с возрастным периодом $369,7 \pm 4,0 - 293,5 \pm 3,8$ млн лет отмечены высококалиевым трахитовым гипабиссальным магматизмом с взрывным проявлением. Для уточнения временной

последовательности (может быть синхронности) и продолжительности каждого проявления щелочного магматизма на Среднем Тимане, а также понимания его связи с той или иной взрывной деятельностью или метасоматическими процессами с редкоземельно-редкометальным рудопроявлением в зонах фенитизации требуется дальнейшее датирование всех щелочных геологических объектов данного региона.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ИГМ СО РАН (проект № 122041400171-5, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследования) и ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600012-2; № 122040600011-5.

Библиографический список

Голубева И.И., Ремизов Д.Н., Куликова К.В., Макеев Б.А., Симакова Ю.С., Филиппов В.Н. Геология и вещественный состав раннепермских высококалиевых трахитов взрывной субвулканической фации Среднего Тимана. // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2016. Т. 91, Вып. 2–3. С. 36–46.

Голубева И.И., Ремизов Д.Н., Бурцев И.Н., Филиппов В.Н., Шуйский А.С. Флюидовзрывные ультрамафиты дайкового комплекса Среднего

Тимана и их парагенетическая связь с карбонатами. // Региональная геология и металлогения. 2019¹. № 80. С. 30–44.

Голубева И.И., Бурцев И.Н., Травин А.В., Ремизов Д.Н., Филиппов В.Н., Шуйский А.С. Парагенетическая связь флюидизатно-эксплозивных ультрамафитов дайкового комплекса с карбонатами (Средний Тиман) // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: материалы XVII Геологического съезда. Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2019². Т. 2. С. 22–24.

Голубева И.И., Шуйский А.А., Филиппов В.Н., Бурцев И.Н. Обобщенный опыт изучения и диагностики конвергентных пород на примере карбонатизированных флюидо-эксплозивных ультрамафитов дайкового комплекса среднего Тимана // Вестник Пермского университета. 2021. Т. 20, № 1. С. 11–23.

Кедринский В.К., Скулкин А.А. Экспериментальная модель – роль трещин в механизме взрывного извержения вулкана St.Helens-80. // Журнал технической физики. 2017. Т. 87, Вып. 7 С. 1008–1013.

Костюхин М.И., Степаненко В.И. Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона. Л.: Наука, 1987. 232 с.

Мальков Б.А. Санидиновые ультракалиевые трахиты – новый палеозойский вулканический комплекс Среднего Тимана. // Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах. Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 59–61.

Мальков Б.А., Холодова Е.Б. Проблемы кимберлитового вулканизма Европейского севера России. Сыктывкар, 1993. С. 67–71.

Недосекова И.Л., Замятин Д.А., Удоратина О.В. Рудная специализация карбонатных комплексов Урала и Тимана. // Литосфера. 2017. Т. 17, № 2. С. 60–77.

Тиманский кряж. Литология и стратиграфия, геофизическая характеристика Земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы: монография. / под ред. Л.П. Шилов, А.М. Плякин, В.И. Алексеев. Ухта: УГТУ, 2010. Т. 2. 437 с.

Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г. и др. Термо-хронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион. Западное Прибайкалье). // Геохимия. 2009. № 11. С. 1181–1199.

Удоратина О.В., Травин А.В., Куликова К.В., Варламов Д.А. Свидетельства раннепермского импульса ультракалиевого магматизма на Среднем Тимане. // Бюл. МОИП. Отд. Геол. 2016. Т. 91, Вып. 2–3. С. 29–36.

Удоратина О.В., Вирюс А.М., Козырева И.В. Th-U-Pb данные по монацитам из коры выветривания щелочных рудных метасоматитов (Верхне-Шугорское проявление, Средний Тиман): труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2023. 20. С. 477–483.

Удоратина О.В., Вирюс А.М., Козырева И.В., Капитанова В.А. Монацит гидротермально-метасоматических пород (Новобобровское рудное поле, Средний Тиман // Юшкинские чтения – 2013. Сыктывкар. 2013. С. 275–277.

Formation Age Data of the Trachyte Explosive Tube in Middle Timan as a Reflection of the Final Activation of Interplate Alkaline Potassium Magmatism

I.I. Golubeva^a, A.V. Travin^b, I.N. Burtsev^a

^a Institute of Geology, Komi Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 54 Pervomayskaya Str., Syktывkar 167982, Russia

^b Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, 3 Academician Koptyug Ave., Novosibirsk 630090, Russia

The ⁴⁰Ar/³⁹Ar method determined the age of sanidine from high-potassium trachyte fragments of pipe fluid-explosive breccia. Fluid-explosive breccia breaks through the basalts of the Early Devonian Kanino-Timan complex. The established age of sanidine is 369.7±4.0 million years. Trachytic magmatism is the final stage of the formation of an alkaline igneous province of potassium specialization in Middle Timan.

Key words: *trachytes, explosive magmatism, Middle Timan*

References

Golubeva I.I., Remizov D.N., Kulikova K.V., Makeyev B.A., Simakova Yu.S., Filippov V.N. 2016. Geologiya i veshchestvennyy sostav rannepermskikh vysokakaliyevykh trakhitov

eksplozivnoy subvulkanicheskoy fatsii Srednego Timana [Geology and material composition of Earlier Permian high-alkaline trachytes of explosive subvolcanic facies of the Middle Timan]. Byul. MOIP. Otd. geol. 91(2–3):36 – 46. (in Russian)

Golubeva I.I., Remizov D.N., Burtsev I.N., Filippov V.N., Shuyskiy A.S. 2019¹. Flyuidoeksplozivnyye ultramafity daykovogo kompleksa Srednego Timana i ikh parageneticheskaya svyaz s karbonatitami [Fluid-explosive ultra-mafites of the Middle Timan dike complex and their paragenetic relationship with carbonatites]. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*. 80:30 – 44. (in Russian)

Golubeva I.I., Burtsev I.N., Travin A.V., Remizov D.N., Filippov V.N., Shuyskiy A.S. 2019². Parageneticheskaya svyaz flyuidizatno-eksplozi-vnykh ultramafitov daykovogo kompleksa s karbonatitami (Sredniy Timan) [Paragenetic relationship between fluid-explosive ultramafites of dike complex and carbonatites (Middle Timan)]. *Geologiya i mineralnye resursy Yevropeyskogo Severo-Vostoka Rossii: Materialy XVII Geologicheskogo syezda. Respubliki Komi. T. II Syktyvkar, IG Komi NTS UrO RAN*, pp. 22 – 24. (in Russian)

Golubeva I.I., Shuyskiy A.A., Filippov V.N., Burtsev I.N. 2021. Obobshchennyi opyt izucheniya i diagnostiki konvergentnykh porod na primere karbonatizirovannykh flyuido-eksplozivnykh ultramafitov daykovogo kompleksa srednego Timana [Study and diagnostics of convergent rocks on the example of carbonated fluid-explosive ultramafic dyke complex (Middle Timan)]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 20(1):11 – 23. (in Russian) doi: 10.17072/psu.geol.20.1.11

Kedrinskiy V.K., Skulkin A.A. 2017. Eksperimentalnaya model – rol treshchin v mekhanizme vzyvnyogo izverzheniya vulkana St.Helens-80 [Experimental model – role of fissures in mechanism of explosive eruption of St.Helens-80]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*. 87(7):1008 – 1013. (in Russian)

Kostyukhin M.I., Stepanenko V.I. 1987. Baykalskiy magmatizm Kanino-Timanskogo regiona [Baikalian magmatism of the Kanin-Timan region]. *Leningrad, Nauka*, p. 232. (in Russian)

Malkov B.A. 2012. Sanidinovyeye ultrakaliyevye trakhity – novyy paleozoyskiy vulkanicheskiy kompleks Srednego Timana [Sanidine ultra-alkaline trachyte – a new Paleozoic volcanic complex of the Middle Timan]. *Diagnostika vulkanogennykh produktov v osadochnykh tolshchakh*. Syktyvkar, Geoprint, pp. 59 – 61. (in Russian)

Malkov B.A., Kholodova Ye.B. 1993. Problemy kimberlitovogo vulkanizma Yevropeyskogo severa Rossii [Problems of kimberlite volcanism of European North of Russia]. *Syktyvkar*, pp. 67 – 71. (in Russian)

Nedosekova I.L., Zamyatin D.A., Udoratina O.V. 2017. Rudnaya spetsializatsiya karbonatnykh kompleksov Urala i Timana [Mineral specialization of carbonate complexes of the Urals and Timan]. *Litosfera*. 17(2):60–77. (in Russian)

Timanskiy kryazh. T. 2. Litologiya i stratigrafiya, geofizicheskaya kharakteristika Zemnoy kory, tektonika, mineralno-syryevye resursy [Timan Ridge. T.2. Lithology and Stratigraphy, geological characterization of the Earth crust, tectonics, raw mineral resources]. Eds. Shilov L.P., Plyakin A.M., Alekseyev V.I. Ukhta, UGTU, p. 437. (in Russian)

Travin A.V., Yudin D.S., Vladimirov A.G. et al. 2009. Termo-khronologiya Chernorudskoy granulitovoy zony (Olkhonskiy region. Zapadnoye Pribaykalye) [Thermo-chronology of the Chernorudskaya granulite zone (Olkhon region. Western Cis-Baikal)]. *Geokhimiya*. 11:1181 – 1199. (in Russian)

Udoratina O.V., Travin A.V., Kulikova K.V., Varlamov D.A. 2016. Svidetelstva ranneperskogo impulsa ultrakaliyevogo magmatizma na Srednem Timane [Evidence of the Earlier Permian impulse of ultra-alkaline magmatism on the Middle Timan]. *Byul. MOIP. Otd. Geol.* 91(2 – 3):29 – 36. (in Russian)

Udoratina O.V., Viryus A.M., Kozyreva I.V. 2023. Th-U-Pb dannyye po monatsitam iz kory vyvetrivaniya shchelochnykh rudnykh metasomatitov (Verkhne-Shchugorskoye proyavleniye, Sredniy Timan) [Th-U-Pb data on the monazite from weathering crust of alkaline ore metasomatites (Verkhne-Shchugorskoye occurrence, Middle Timan)]. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTS RAN*. 20:477 – 483. (in Russian)

Udoratina O.V., Viryus A.M., Kozyreva I.V., Kapitanova V.A. 2013. Monazit gidrotermalno-metasomaticheskikh porod (Novobobrovskoye rudnoye pole, Sredniy Timan) [Monazite of hydrothermal-metasomatic rocks (Novobobrovskoye field, Middle Timan)]. *Yushkinskiye chteniya, Syktyvkar*, pp. 275–277. (in Russian)