

Особенности геологического строения и первые результаты изотопного датирования вулканических пород в бассейне р. Исеть, Восточно-Уральская мегазона

Василий Станиславович ЧЕРВЯКОВСКИЙ^{1*},
Евгений Александрович СЛОБОДЧИКОВ²,
Мария Владимировна ЧЕРВЯКОВСКАЯ¹,
Елена Николаевна ВОЛЧЕК^{1**}

¹Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность работы. В бассейне р. Исеть находятся самые обширные выходы вулканогенных образований бекленищевского комплекса Восточно-Уральской мегазоны, возраст которого определяется как раннекаменноугольный по соотношению вулканитов с фаунистически охарактеризованными осадочными отложениями. Вулканиты слагают здесь потоки андезитобазальтовых и андезитовых лав и лавовых брекчий. Геохронологические датировки, уточняющие возраст пород, отсутствуют, что затрудняет оценку их роли в формировании мегазоны. Поэтому изотопное датирование этих образований весьма актуально.

Методы. U–Pb возраст и данные по геохимии цирконов получены методом лазерной абляции (LA–ICP–MS).

Целью исследований являлось изучение особенностей геологического строения, вещественного состава вулканических пород в бассейне р. Исеть, геохимии цирконов из андезитов и определение их изотопного возраста.

Результаты работы и область их применения. Лавовые потоки андезитов и андезитобазальтов с незначительным количеством базальтов и дацитов имеют тектонический контакт с осадочными породами раннекаменноугольного возраста. Характер распределения редких элементов в вулканитах типичен для надсубдукционных образований. Цирконы в андезитах представлены призматическими и изометричными кристаллами. Призматические разности по характеру распределения РЗЭ и содержанию Li, Ti, Sr, Th, U относятся к цирконам магматического генезиса, изометричные – к «гидротермальным». По соотношениям U/Yb–Y первые соответствуют цирконам океанического дна, а вторые относятся к континентальным. Впервые проведено изотопное датирование цирконов из андезитов. Их возраст составил 311 млн лет. Данные могут быть использованы при геологическом картировании, а также составлении крупномасштабных геодинамических карт и схем.

Выводы. Вулканические породы в бассейне р. Исети формировались в надсубдукционной окраинно-континентальной геодинамической обстановке, имевшей место на Урале в карбоне. Полученное значение возраста цирконов из андезитов, возможно, фиксирует этап их преобразования.

Ключевые слова: Восточно-Уральская мегазона, вулканические породы, циркон, изотопный возраст

Введение

Рассматриваемая территория расположена по восточной периферии среднеуральской части Восточно-Уральской мегазоны (рис. 1, а). Ее своеобразие заключается в широком распространении среди осадочных отложений пород эффузивных фаций, сложенных преимущественно лавами в ассоциации с пирокластическими отложениями. Их возраст был принят как раннекаменноугольный на основании находок фауны и микрофауны в осадочных породах при проведении геологических съемок и в дальнейшем неоднократно подтверждался другими геологическими исследованиями.

Начало изучения этих образований как самостоятельных геологических единиц, имеющих определенное место в геологической истории развития района, приходится на

1970-е гг. До этого периода исследование вулканитов сводилось в основном к описанию их положения в стратиграфическом разрезе [1]. Первоначально они были выделены в самостоятельную андезитовую формацию раннекаменноугольного возраста (С₁) [2]. Позднее новые данные по геологии позволили отнести их к бекленищевскому комплексу раннего карбона, в состав которого включены вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы одной свиты, широко развитой на всем протяжении Восточной зоны Среднего Урала [3–6].

Таким образом, существует единая точка зрения на возраст этих образований. Недавнее исследование геологического строения этого района показало целесообразность отделения вулканогенной составляющей от

*v.chervyakovskiy@mail.ru

**volchek@igg.uran.ru

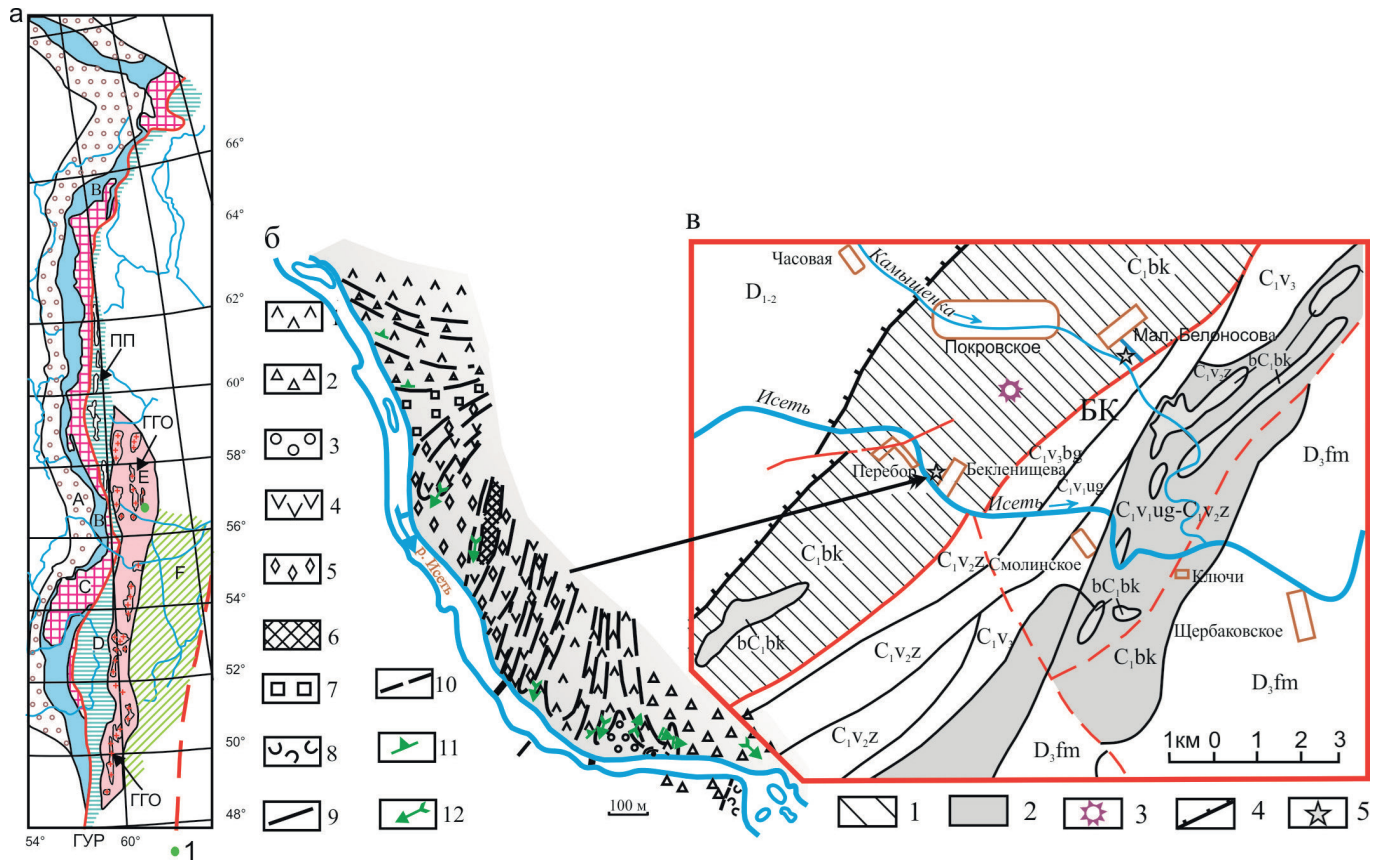


Рисунок 1. Схемы: а – размещение тектонических мегазон Урала [7]: А – Предуральский передовой прогиб; В – Западно-Уральская мегазона; С – Центрально-Уральская мегазона; D – Тагило-Магнитогорская мегазона; Е – Восточно-Уральская мегазона; F – Зауральская мегазона; ГУР – Главный Уральский разлом; ПП – Платиноносный пояс; ГГО – Главная гранитная ось; 1 – положение исследуемого района; б – строение участка р. Исеть вблизи населенных пунктов Перебор и Бекленищева [9]: 1 – лавы андезитобазальтового состава; 2 – лавовые брекчии андезитобазальтового состава; 3 – комковатые лавы андезитобазальтового состава; 4 – лавы андезитового состава; 5 – лавовые брекчии андезитового состава; 6 – брекчированная корка потока в ненарушенном залегании; 7 – лавовые брекчии базальтового состава; 8 – крупнообломочные туфы; 9–10 – границы лавовых потоков и вулканических фаций: 9 – наблюдаемые, 10 – предполагаемые; 11 – элементы залегания слоистости, флюидалности, ориентировки миндалин; 12 – направления движения лавовых потоков; в – геологическое строение территории в бассейне р. Исеть [5, 8]: 1 – вулканические породы среднеосновного состава; 2 – вулканогенно-осадочная толща; 3 – предполагаемое жерло; 4 – Часовой надвиг; 5 – место отбора проб; БК – Бекленищевский региональный надвиг; C_{2b1} – средний отдел, башкирский ярус, нижний подъярус (переслаивающиеся известняковые песчаники, алевролиты и известняки); C_{1s} – нижний отдел, серпуховский ярус (толстослоистые органогенно-детритовые известняки); C_{1v2bg} – визейский ярус, верхний подъярус, богдановичский горизонт (неяснослоистые и массивные органогенно-детритовые известняки); C_{1v2z} – визейский ярус, верхний подъярус, жуковский горизонт (плитчатые песчаники, алевролиты, аргиллиты с прослоями известняковых песчаников и спикуловых известняков); C_{1vug-C1vz} – визейский ярус, нижний подъярус, устьгреховский горизонт (переслаивающиеся известняковые песчаники, алевролиты и органогенно-детритовые известняки; аргиллиты, известковистые аргиллиты с прослоями пелециподовых, брахиоподовых ракушечков, песчаников и органогенно-детритовых известняков); C_{1vug} – визейский ярус, нижний подъярус, устьгреховский горизонт (вулканомиктовые конгломерато-брекчии, гравелиты, песчаники, алевролиты, аргиллиты с флорой, известняковые песчаники); C_{1t} – турнейский ярус (алевролиты с флорой, известняковые песчаники, алевролиты, известняки с конодонтами, кремнистые породы); D_{3fm} – верхний девон, фаменский ярус (алевролиты, песчаники с прослоями известняков); D₁₋₂ – нижний-средний девон (вулканогенно-осадочные образования).

Figure 1. Schemes: a – location of the tectonic megazones of the Urals [7]: A – the Pre-Urals foredeep; B – West Ural megazone; C – Central Ural megazone; D – Tagilo-Magnitogorsk megazone; E – East Ural megazone; F – Trans-Ural megazone; MUF – Main Ural fault; PP – platiniferous belt; MGA – Main Granite Axis; 1 – location of the studied area; b – structure of the site of the Iset river near the settlements of Perebor and Beklenishcheva [9]: 1 – lavas of andesite – basalt composition; 2 – lava breccias of andesite – basalt composition; 3 – lumpy lavas of andesite – basalt composition; 4 – lavas of andesite composition; 5 – lava breccias of andesite composition; 6 – brecciated crust of the stream in unbroken bedding; 7 – lava breccias of basalt composition; 8 – large-scale tufts; 9–10 – boundaries of lava flows and volcanic facies: 9 – observed, 10 – assumed; 11 – attitudes, fluidization, amygdale orientation; 12 – directions of movement of lava flows; c – geological structure of the territory in the Iset river basin [5, 8]: 1 – volcanic rocks of normal basic composition; 2 – igneous-sedimentary strata; 3 – estimated vent; 4 – Chasovskaya thrust; 5 – sampling site; BT – Beklenishchevsky regional thrust; C_{2b1} – middle section, Bashkir stage, lower sub-stage (interbedded limestone sandstones, siltstones and limestones); C_{1s} – lower section, Serpukhov stage (thick-layered organogenou-detrital limestones); C_{1v2bg} – Visean stage, upper substage, Bogdanovichsky horizon (indistinctly laminated and massive organogenou-detrital limestones); C_{1v2z} – Visean stage, upper substage, Zhukovsky horizon (plate sandstones, siltstones, mudstones with interlayers of calcareous sandstones and spicular limestones); C_{1vug-C1vz} – Visean stage, lower substage, Ustgrekhovskiy horizon, upper substage, Zhukovsky horizon (interbedded limestone sandstones, siltstones, and organogenou-detrital limestones; mudstones, calcareous mudstones with interlayers of pelecipod, brachiopod shell rocks, sandstones, and organogenou-detrital limestones); C_{1vug} – Visean stage, lower sublayer, Ustgrekhovskiy horizon (volcanomictic conglomerate-breccias, gravelites, sandstones, siltstones, mudstones with flora, limestone sandstones); C_{1t} – Tournaisian stage (siltstones with flora, limestone sandstones, siltstones, limestones with conodonts, siliceous rocks); D_{3fm} – Upper Devonian, Famienian stage (siltstones, sandstones with limestone interlayers); D₁₋₂ – lower-Middle Devonian (volcanogenic-sedimentary formations).

осадочной, сохранив за последней название «бекленищевская свита» [8].

Изотопное датирование вулканических пород, свидетельствующее об их радиологическом возрасте, не проводилось. В статье представлены первые результаты U–Pb-датирования цирконов из андезитов, их микроэлементный состав и краткая геохимическая характеристика вулканических пород в бассейне р. Исети.

Методы исследования

Все аналитические исследования были проведены в центре коллективного пользования «Геоаналитик» Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург. Петрогенные оксиды определялись рентгеноспектральным флуоресцентным методом на СРМ-18 и на EDX-900HS (Na₂O), содержания редких и редкоземельных элементов – методом ICP–MS на анализаторе ELAN 9000. Цирконы изучались на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390L фирмы Jeol и на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX100. Данные по изотопам U и Pb, а также элементам-примесям в зернах циркона получены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой с лазерной абляцией (LA–ICP–MS) на квадрупольном ИСП–МС NexION 300S с приставкой для лазерной абляции LA NWR 213. Исползованное оборудование размещено в помещении класса чистоты 7 ИСО. Процедура измерения Pb/U изотопных отношений и алгоритм расчета возраста приведены в работе [10]. Параметры приставки для лазерной абляции следующие: диаметр кратера – 25 мкм, частота повторения импульсов – 10 Гц, плотность энергии – 12,5–13,5 Дж/см². Результаты обрабатывались в программе GLITTER V4.4. Корректировка присутствия общего свинца проведена в программе ComPbCorr [11]. Построение конкордии выполнено в макросе для Excel Isoplot v.4.15. В качестве первичного стандарта, измеренного методом «взятия в вилку» через 10 измерений, использовали циркон GJ-1 (в качестве вторичных – цирконы 91500 и Plesovice). U–Pb возраст для стандартов GJ-1 и Plesovice составляет 601 ± 2 (1σ) и 338 ± 2 (1σ) млн лет соответственно в рамках данной измерительной сессии.

Выделение монофракции циркона выполнялось по стандартной схеме, включающей, прежде всего, дробление горной породы до <0,25 мм и отмывку полученной пробы. Немагнитная фракция разделена в тяжелой жидкости (бромформ). Концентрат для выделения зерен цирконов под бинокулярным микроскопом получен с помощью электромагнитной сепарации. Для дальнейшего исследования зерна цирконов были помещены в эпоксидную шашку.

Геологическое положение и состав вулканических пород по долинам рек Исети и Камышенки

Вулканические породы, обнажающиеся в бассейне р. Исети, локализованы в пределах тектонического блока Смолинского пакета тектонических пластин, относимого к числу крупных структурных образований мегазоны [5]. Западная граница их распространения проходит по Часовскому надвику, одновременно являющемуся западным ограничением Смолинского пакета. На востоке вулканы отделены от карбонатных пород задернованным интервалом протяженностью 200 м, соответствующим зоне

Бекленищевского разлома. Исследованиями прошлых лет здесь был реконструирован палеовулкан центрального типа, жерло которого находилось в междуречье Исети и Камышенки, между поселком Покровским и деревней Бекленищева [9]. Положение жерла подтверждается геофизическими данными. В настоящий момент оно представляет собой круглое озеро (около 30 м в диаметре), по берегам которого встречаются обломки глыбовых и шлаково-глыбовых лав андезитобазальтового и андезитового состава. Осадочные отложения в блоках представлены терригенными образованиями фаменского яруса верхнего девона, карбонатно-кремнисто-терригенными раннетурнейскими и карбонатно-терригенными отложениями раннего и верхнего визе, а также терригенно-карбонатными отложениями башкирского яруса среднего карбона (рис. 1, б, в).

Наиболее хорошо сохранившиеся обнажения лав в ассоциации с пирокластическими отложениями находятся на участке долины р. Исети между дер. Перебор и дер. Бекленищева (рис. 1, б). Протяженность их выходов составляет здесь 2 км. По составу среди вулканитов преобладают андезитобазальты и андезиты, а андезитодациты и базальты находятся в подчиненном количестве. Потоки андезитобазальтовых лав имеют ширину от 5 до 45 м. Мощность потоков андезитовых лав составляет 2,5–20 м. Для их боковых и фронтальных частей характерна брекчиевидная текстура. В потоках устанавливается кубическая и пластовая отдельность. В северо-западной части разреза наблюдается чередование лав и лавовых брекчий андезитобазальтового состава. Простираение прослоев лав здесь 300°, падение северо-восточное. Лавовые брекчии слагают достаточно мощные потоки с обломочным строением. Количество обломков в потоках разное, их размер колеблется от 5–10 до 30 см. По составу обломки, как и основная масса, соответствуют андезитобазальтам. Промежутки между ними заполнены цементирующей массой, по которой развивается хлорит, иногда карбонат. В отличие от лав для лавовых брекчий характерна неправильно-глыбовая отдельность и неровная бугорчатая поверхность.

От р. Исети вулканиты протягиваются на северо-восток до р. Камышенки полосой, ширина которой между дер. Мал. Белоносова и с. Покровское достигает 6 км. Андезиты здесь слагают разобщенные скалы шириной до 100–150 м по обоим берегам реки. Для них характерна блоковая отдельность. Размер блоков составляет 0,20 × 0,60 м. Они содержат ксенолиты известняков, в которых определены фораминиферы визейского возраста: *Archaediscus convehus* (Gros Zeb.), *Endothyra* sp., а также мшанки, криноидеи, водоросли (определения М. В. Постоялко). По внешнему облику андезиты – это массивные серые, серо-зеленые породы со стекловатым базисом и видимыми невооруженным глазом порфиоровыми вкрапленниками. Иногда породы сильно гематитизированы и имеют темно-лиловую окраску. Порфиоровые выделения, составляющие до 30 % объема породы, представлены плагиоклазом и пироксеном. Зерна плагиоклаза имеют призматическую и таблитчатую форму. Наблюдаются как отдельные кристаллы, так и их сростки. Размер вкрапленников составляет 0,7–2 мм. Пироксен образует более

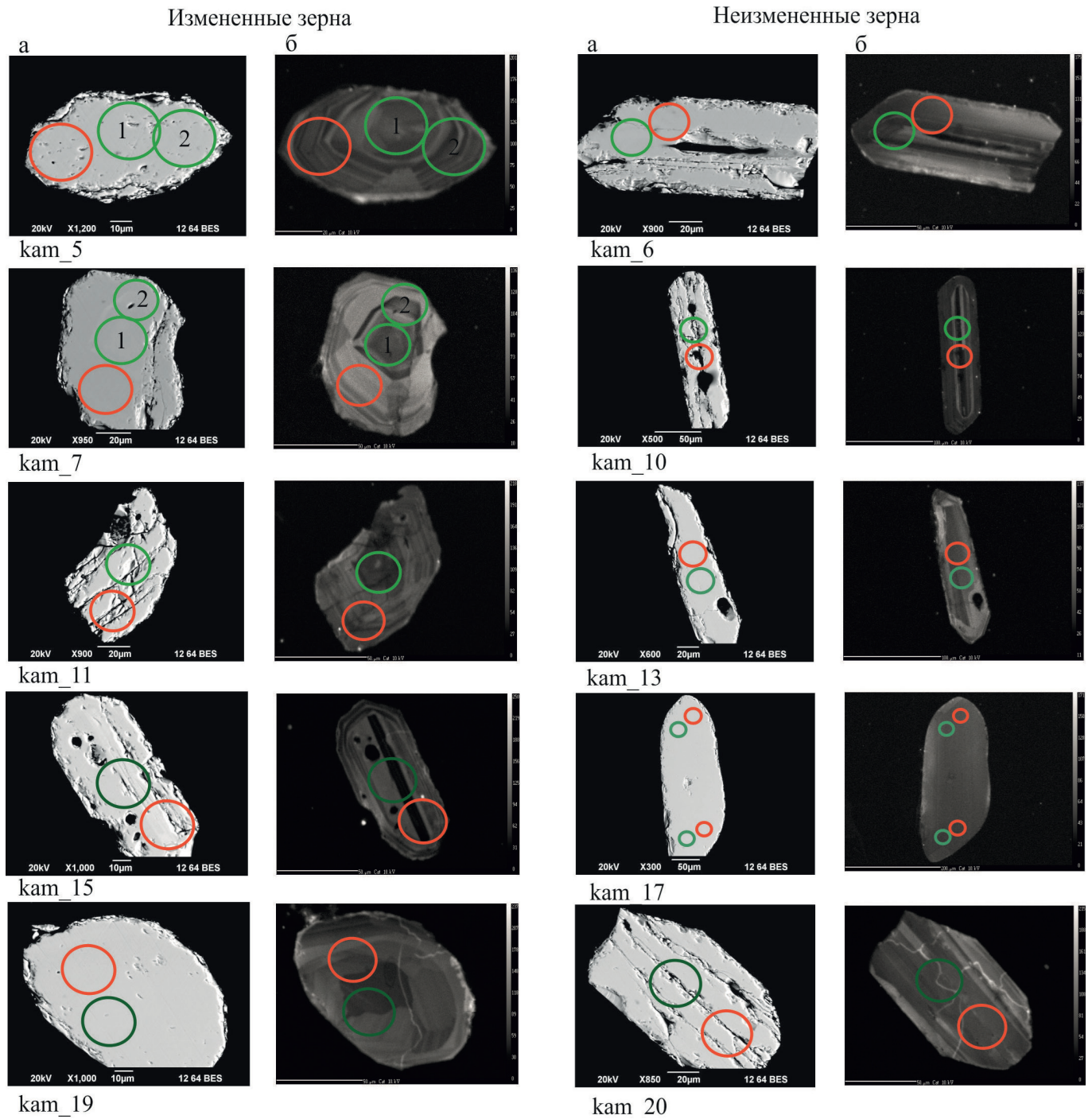


Рисунок 2. Оптические (а) и катодолуминесцентные (б) изображения циркона из андезитов (kam) с аналитическими точками (красный цвет кружка – РЗЭ, зеленый – возраст).
Figure 2. Optical (a) and cathodoluminescent (b) images of zircon from andesites (kam) with analytical points (red circle – REE, green circle – age).

мелкие, почти неизмененные зерна. Основная масса с микролитовой структурой состоит из плагиоклаза, хлорита, халцедона, гематита.

По химическому составу исследованные вулканы соответствуют андезитобазальтам, андезитам и дацитам. По содержанию K_2O они являются умеренно калиевыми. Для них характерны умеренная титанистость, низкие содержания CaO , MgO , коэффициент глиноземистости (al) составляет 1,05–2,18, что позволяет относить их к высокоглиноземистой группе. Сумма щелочных металлов в

андезите р. Исеть составляет 6,8 мас. % при содержании K_2O в среднем 1,76 мас. %, а в андезите р. Камышенки – 7,76 и 1,02 мас. % соответственно. Суммарное содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) в них колеблется в пределах от 76 до 120 г/т. При этом в андезите р. Исеть сумма РЗЭ несколько выше, чем в андезите р. Камышенки (87 и 76 г/т соответственно). В породах наблюдается некоторое обогащение легкими РЗЭ относительно тяжелых (величина La_n/Yb_n составляет 4,1 и 4,2) и небольшой европиевый минимум ($Eu_n/Eu_n^* = 0,87–0,98$). Для всех вулканических

**U–Pb изотопные данные для цирконов из андезитов в бассейне р. Исеть.
U–Pb isotope data for zircons from andesites in the Iset river basin.**

Зерно, точка	Изотопные отношения				RHO	Возраст, млн лет				Концентрации, г/т					
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	Pb ₂₀₆	Pb ₂₃₈	Th/U	
kam_14	0,053	0,003	0,020	0,0009	0,32	308	119	305	15	305	6	31	145	55	0,38
kam_20	0,053	0,003	0,025	0,0011	0,31	316	143	315	18	315	6	23	109	50	0,45
kam_17/2	0,053	0,006	0,045	0,0018	0,3	319	246	320	33	320	11	19	86	47	0,54
kam_17/1	0,053	0,003	0,025	0,0011	0,32	330	143	317	19	317	7	30	141	89	0,63
kam_6	0,053	0,004	0,028	0,0011	0,29	336	171	305	21	301	7	46	224	123	0,55
kam_7_1	0,053	0,004	0,027	0,0009	0,25	313	159	318	20	318	6	25	114	49	0,42
kam_7_2	0,053	0,005	0,034	0,0012	0,26	324	199	317	25	316	7	23	105	46	0,44
kam_16	0,058	0,004	0,028	0,0010	0,3	537	146	338	20	310	6	41	195	109	0,56
kam_22	0,054	0,004	0,025	0,0010	0,29	353	150	315	19	310	6	35	168	96	0,57
kam_9/2	0,053	0,004	0,028	0,0011	0,28	340	165	314	21	310	7	28	131	58	0,44
kam_13	0,058	0,005	0,037	0,0013	0,27	546	202	338	27	308	8	36	170	100	0,59
kam_19	0,053	0,006	0,042	0,0015	0,27	328	240	315	31	313	9	23	110	35	0,32
kam_1	0,062	0,007	0,050	0,0017	0,29	670	260	343	36	297	10	25	123	43	0,35
kam_2	0,062	0,005	0,032	0,0012	0,31	680	156	354	23	306	7	34	165	64	0,39
kam_3	0,054	0,008	0,063	0,0022	0,26	358	325	339	46	336	13	15	64	28	0,45
kam_5/1	0,062	0,006	0,042	0,0014	0,29	671	213	348	30	301	9	22	109	67	0,61
kam_5/2	0,069	0,006	0,039	0,0012	0,42	909	165	376	27	295	7	37	180	110	0,61
kam_10	0,056	0,004	0,025	0,0010	0,3	440	147	311	19	294	6	51	254	144	0,57
kam_11	0,057	0,023	0,166	0,0048	0,23	499	762	340	121	318	29	37	171	99	0,58
kam_12	0,070	0,008	0,059	0,0019	0,3	918	258	388	41	305	11	19	90	41	0,45
kam_15	0,065	0,006	0,040	0,0014	0,31	784	188	354	29	292	8	35	175	88	0,50

Применение: RHO – коэффициент корреляции

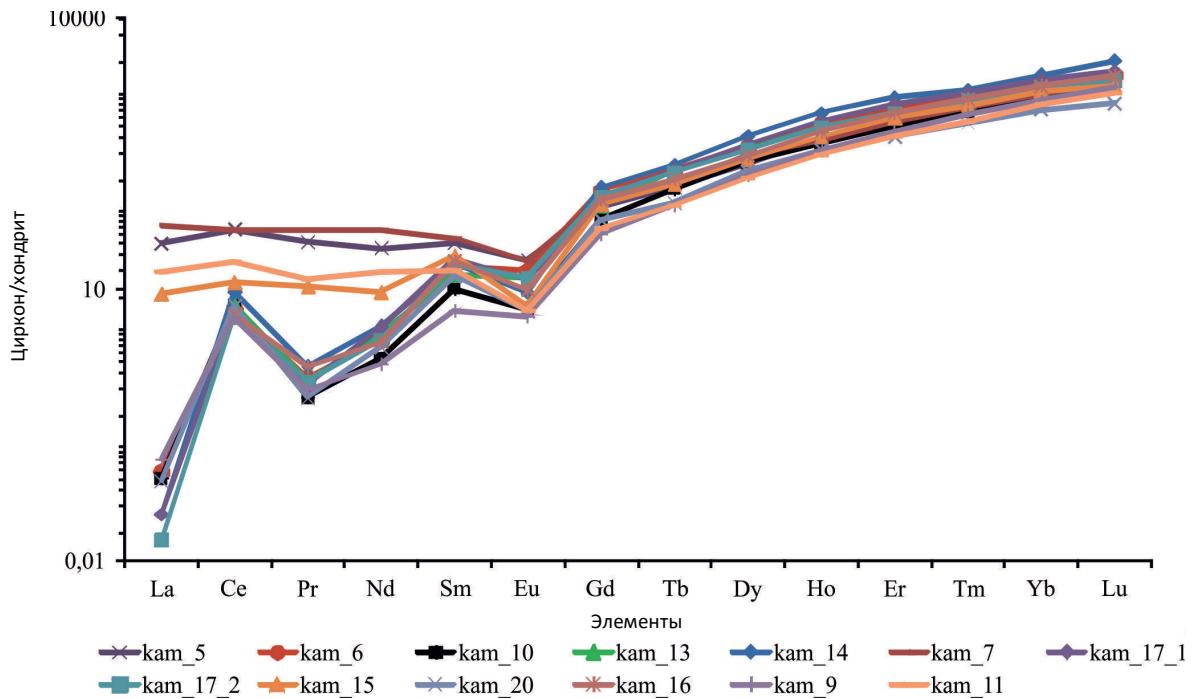


Рисунок 3. Графики распределения редкоземельных элементов, нормированных к составу хондрита [14] для цирконов из андезитов в бассейне р. Исеть.
Figure 3. Graphs of the distribution of rare earth elements normalized to the composition of chondrite [14] for zircons from andesites in the Iset river basin.

пород характерно обогащение крупноионными литофильными элементами (K, Rb, Ba, Th и Sr) относительно высоkozарядных и присутствие минимумов по Ta и Nb на спайдерграммах, нормализованных по N-MORB, что характерно для вулканитов, сформированных в пределах субдукционных зон. От сходных в петрохимическом отношении вулканических пород среднего девона этой зоны Урала с параметрами островодужных образований они отличаются более высокими содержаниями РЗЭ, а также более слабым проявлением минимумов Ta, Nb, Zr, Hf, Y, Ta и Nb на многокомпонентных диаграммах [12, 13].

Результаты исследования циркона и их обсуждение

Для изучения геохимии цирконов и определения их изотопного возраста были взяты образцы из обнажений андезитов по берегам рек Исети (Рев) и Камышенки (kam). В пробе Рев были обнаружены единичные обломки цирконов, имеющие на поверхности и на срезах различные микротрещины, и их дальнейшие исследования не проводились. Обнаруженные в пробе kam 52 зерна различной сохранности в основном имеют небольшие размеры (50–100 мкм), встречено несколько более крупных зерен (100–200 мкм). Среди них есть полосчатые призматические разности и кристаллы изометричной формы с концентрической зональностью (рис. 2), а также обломки. В большинстве из них сложно выделить какие-либо кристаллографические плоскости. Зерна изометричной или близкой к изометричной формы преобладают в выделенной пробе. В меньшем количестве находятся зерна удлиненной призматической формы с гранями (311). Включения в цирконах представлены апатитом.

Дальнейшее изучение цирконов проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной

плазмой и лазерной абляцией (LA-ICP-MS), что позволило получить их изотопный возраст и микроэлементный состав. Как известно из методики измерения, размер используемого кратера 25 мкм накладывает ограничение на размер кристаллов. 22 зерна оказались очень тонкими, непригодными для получения достоверной информации. Они были отбракованы. В оставшихся кристаллах были измерены микроэлементный состав и U–Pb возраст (таблица).

Данные по геохимии показали, что цирконы различаются по концентрациям и характеру распределения РЗЭ. Призматические цирконы имеют дифференцированный спектр РЗЭ, демонстрирующий преобладание тяжелых РЗЭ, выраженную положительную Ce и отрицательную Eu аномалии (рис. 3), что типично для цирконов магматических пород [15]. В спектрах РЗЭ изометричных зерен фиксируется увеличение содержаний легких РЗЭ и незначительная аномалия Ce, либо ее отсутствие (рис. 3). Повышенное содержание ЛРЗЭ, особенно La, характерно для цирконов гидротермального или метасоматического типов [16, 17]. Для измененных цирконов характерно высокое содержание Ca (2239–10586 г/т), в то время как для магматических цирконов оно ниже предела обнаружения. Содержание Li (3,7–6,6), Ti (25,78–136,18) и Sr (2,07–3,69 г/т) в них также несколько выше, чем в магматических цирконах (0,22–0,76 г/т Li; 12,34–25,16 Ti; 0,20–0,53 Sr). Это также может свидетельствовать о метасоматических изменениях цирконов [17]. Как известно, важным отличием цирконов различного генезиса является Th/U отношение. Для всех исследованных зерен оно варьирует от 0,38 до 0,67, при этом максимальное значение этого отношения имеет циркон kam_17 магматического типа.

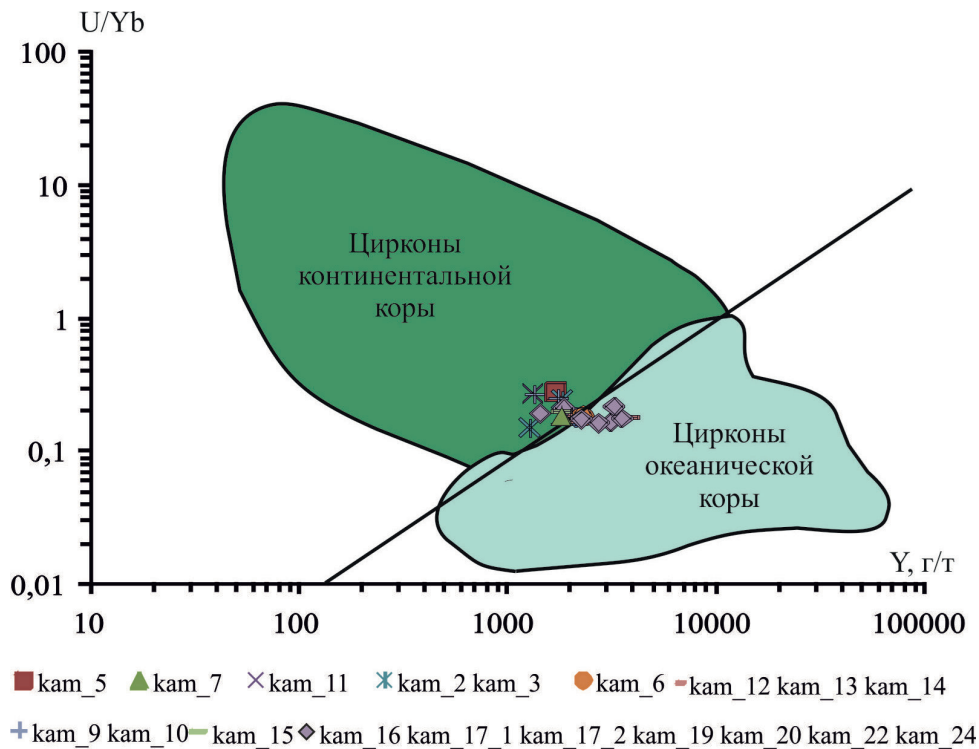


Рисунок 4. Диаграмма U/Yb–Y для цирконов из андезитов в бассейне р. Исети. Поля для цирконов океанической и континентальной коры и диагональная линия приведены по [18].
 Figure 4. U/Yb–Y diagram for zircons from andesites in the Iset river basin. The fields for zircons of the oceanic and continental crust and the diagonal line are given according to [18].

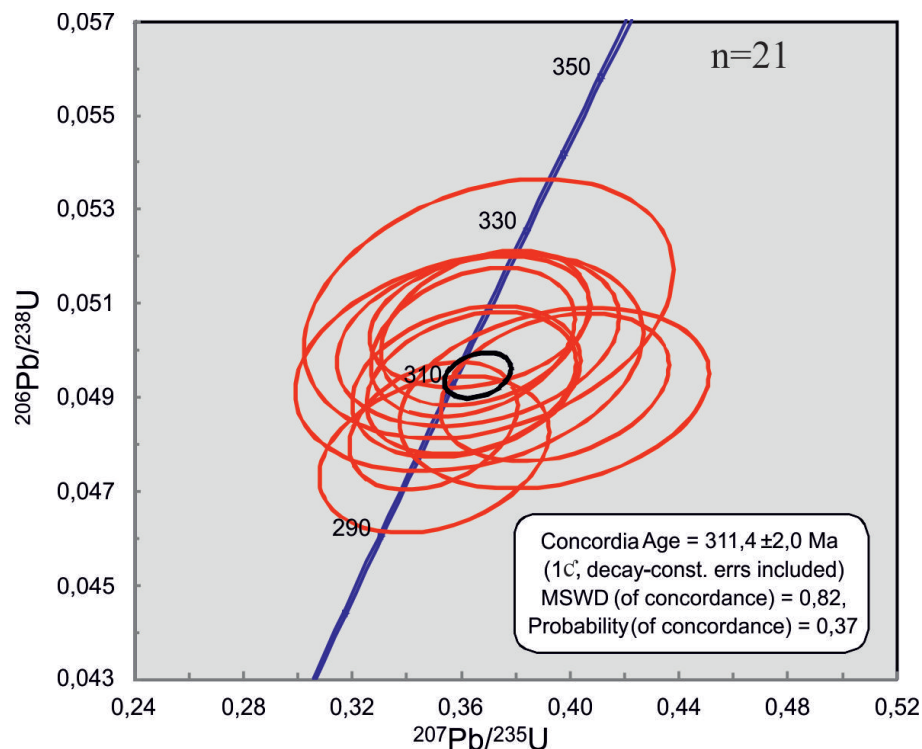


Рисунок 5. Диаграмма с конкордией $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ для зерен циркона из андезитов в бассейне р. Исети. Эллипсы – значения изотопных отношений, соответствующие единичному измерению кратера; черный эллипс – средневзвешенные значения; синяя линия – конкордия; погрешность – 1σ . MSWD (СКВО) – среднеквадратичное взвешенное отклонение; n – количество точек анализа.
 Figure 5. Concordia diagram $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ for zircon grains from andesites in the Iset river basin. Ellipses – isotope ratio values corresponding to a single crater measurement; black ellipse – weighted averages; blue line – concordia; error – 1σ . MSWD – root mean square deviation; n – number of analysis points.

По соотношению U/Yb–Y составы магматических и измененных цирконов попадают соответственно в поля производных океанической и континентальной коры (рис. 4), группируясь вдоль линии их раздела. Это может свидетельствовать о взаимодействии мантийного и корового источников при образовании андезитов. Такие условия характерны для надсубдукционной геодинамической обстановки.

Полученный конкордантный возраст в 21 точке 18 кристаллов составил $311,4 \pm 2,0$ млн лет, СКВО = 0,82 (таблица, рис. 5). Остальные зерна показали дискордантные возрасты, по совокупности которых не представляется возможным построение одной единственной дискордии. В связи с этим дискордантные точки не интерпретировались. Необходимо отметить, что в область конкордантных значений попало 7 точек с измененным микроэлементным составом циркона. Это не позволяет полученный возраст считать возрастом кристаллизации породы. Для всех цирконов типичны низкие концентрации Th и U, значения отношений $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ лежат в узком интервале (таблица).

Заключение

Таким образом, данные по микроэлементному составу цирконов из андезитов, а также геохимические

особенности пород позволяют предполагать, что андезитовый расплав образовался при взаимодействии мантийного и корового источников в надсубдукционной геодинамической обстановке. Полученное значение возраста цирконов из андезитов по современной шкале соответствует среднему карбону и, вероятно, отражает этап их преобразования. Следовательно, андезиты имеют более древний возраст. Учитывая наличие в них ксенолитов известняков с визейскими фораминиферами, можно предположить, что их формирование соответствует окончанию раннекаменноугольного времени.

Эти результаты хорошо согласуются с выводами исследователей о наличии по восточной периферии мегазоны образований каменноугольного вулканоплутонического пояса, имеющего черты сходства с краевыми поясами активных континентальных окраин. Считается, что в карбоне на всем протяжении Урало-Монгольского пояса проявился мощный андезит-гранодиоритовый, гранодиорит-гранитный магматизм андийского типа [19]. Это дает все основания рассматривать вулканогенные образования в бассейне р. Исети в качестве накоплений этого пояса.

Исследования выполнены в рамках темы № АААА-А19-119072990020-6 и № АААА-А18-118053090045-8 государственного задания ИГГ УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пронин А. А. Карбон восточного склона Среднего Урала. Свердловск: УФ АН СССР, 1960. 230 с.
2. Коротеев В. А., Дианова Т. В., Кабанова Л. Я. Среднепалеозойский вулканизм Восточной зоны Урала. Л.: Наука, 1979. 129 с.
3. Анненкова М. Н., Рапопорт М. С. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Сер. Среднеуральская. Лист 0-41-XXXII, 1985. 161 с.
4. Шалагинов В. В. Легенда Среднеуральской серии Государственной геологической карты РФ масштаба 1:200 000 (второе издание). СПб., 1998. 156 с.
5. Коровко А. В., Двоеглазов Д. А. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1: 200 000. Сер. Среднеуральская. Лист О-41-XXXII. 2002.
6. Смирнов В. Н., Коровко А. В. Палеозойский вулканизм восточной зоны Среднего Урала // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование: сб. науч. трудов. Екатеринбург, 2007. С. 395–420.
7. Иванов К. С., Конторович В. А., Пучков В. Н., Федоров Ю. Н., Ерохин Ю. В. Тектоника Урала и фундамента Западной Сибири: основные черты геологического строения и развития // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014. № 2. С. 22–35.
8. Кучева Н. А., Степанова Т. И., Волчек Е. Н. Геологическое строение каменноугольных образований в нижнем течении р. Камышенка (бассейн р. Исеть, восточный склон Среднего Урала) // Ежегодник-2006: труды ИГГ УрО РАН. 2007. С. 37–42.
9. Дианова Т. В. О некоторых фациях раннекаменноугольных вулканитов Восточной зоны // Палеовулканизм Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1975. С. 99–107.
10. Зайцева М. В., Пулышев А. А., Щапова Ю. В., Вотяков С. Л. U–Pb датирование цирконов с помощью квадрупольного масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой NexION 300S и приставки для лазерной абляции NWR 213 // Аналитика и контроль. 2016. Т. 20, № 4. С. 294–306. <https://doi.org/10.15826/analitika.2016.20.4.006>
11. Andersen T. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report ^{204}Pb // Chemical Geology. 2002. Vol. 192, issues 1-2. P. 59–79. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00195-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00195-X)
12. Волчек Е. Н., Слободчиков Е. А., Притчин М. Е., Червяковский В. С. О петрогеохимическом составе вулканогенных пород в визейских отложениях на востоке Среднего Урала // Ежегодник-2017: труды ИГГ УрО РАН. 2018. Вып. 165. С. 80–84.
13. Волчек Е. Н., Нечеухин В. М. Петрогеохимические особенности вулканогенных пород Сухоложской зоны (восточный сегмент Среднего Урала) и их значение для геодинамических реконструкций // Литосфера. 2012. № 3. С. 146–150.
14. Sun S. S., McDonough W. E. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the oceanic basins. London: Geol. Soc. Spec. Publ., 1989. № 42. P. 313–345. <http://dx.doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
15. Hoskin P. W. O. Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of Hadean zircon from the Jack Hills, Australia // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2005. Vol. 69, issue 3. 637–648. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.07.006>
16. Балашов Ю. А., Скублов С. Г. Контрастность геохимии магматических и вторичных цирконов // Геохимия. 2011. № 6. С. 622–633. <https://doi.org/10.1134/S0016702911040033>
17. Скублов С. Г., Лобач-Жученко С. Б., Гусева Н. С., Гембицкая И. М., Толмачева Е. В. Распределение редкоземельных и редких элементов в цирконе из миаскитовых лампроитов Панозерского комплекса Центральной Карелии // Геохимия. 2009. № 9. 958–971.
18. Bouvier A.-S., Ushikubo T., Kita N. T., Cavosie A. J., Kozdon R., Valley J. W. Li isotopes and trace elements as a petrogenetic tracer in zircon: insights from Archean TTGs and sanukitoids // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2012. Vol. 163. P. 745–768. <https://doi.org/10.1007/s00410-011-0697-1>
19. Бочкарев В.В., Язева Р.Г. Субщелочной магматизм Урала. Екатеринбург, 2000. 255 с.

Статья поступила в редакцию 26 января 2021 года

Geological features and the first isotopic data of volcanic rocks in the Iset river basin, East-Urals megazone

Vasiliy Stanislavovich CHERVYAKOVSKIY^{1*}
Evgeniy Aleksandrovich SLOBODCHIKOV²,
Mariya Vladimirovna CHERVYAKOVSKAYA¹,
Elena Nikolaevna VOLCHEK^{1**}

¹The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

²Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

Relevance of the work. The Iset river basin contains the most extensive outcrops of volcanogenic formations of the Beklenishchevsky complex of the East Ural megazone, the age of which is determined as Early Carboniferous by the ratio of volcanic rocks with faunistically characterized sedimentary deposits. Volcanics here compose flows of andesite-basaltic and andesitic lavas and lava breccias. There are no geochronological dates specifying the age of the rocks, which makes it difficult to assess their role in the formation of the megazone. Therefore, isotopic dating of these formations is very important.

Methods. The U – Pb age and data on the geochemistry of zircons were obtained by laser ablation (LA – ICP – MS).

Purpose of the research is to study the features of the geological structure, the material composition of volcanic rocks in the Iset river basin, the geochemistry of zircons from andesites and the determination of their isotopic age.

Results of the work and the scope of their application. Lava flows of andesites and basaltic andesites with minor amounts of basalts and dacites have tectonic contact with sedimentary rocks of the Early Carboniferous age. The distribution of rare elements in volcanics is typical of supra-subduction formations. Zircons in andesites are represented by prismatic and isometric crystals. Prismatic differences in the nature of the distribution of REE and the content of Li, Ti, Sr, Th, U refer to zircons of magmatic genesis, isometric – to “hydrothermal”. According to the U / Yb – Y ratios, the former correspond to the zircons of the ocean floor, while the latter are related to the continental ones. Isotopic dating of zircons from andesites was carried out for the first time. Their age was 311 million years. The data can be used in geological mapping, as well as in the compilation of large-scale geodynamic maps and diagrams.

Conclusions. Volcanic rocks in the Iset river basin were formed in supra-subduction continental-marginal geodynamic conditions that took place in the Urals in the Carboniferous. The obtained value of the age of zircons from andesites, possibly, fixes the stage of their transformation.

Keywords: East-Ural megazone, volcanic rocks, zircon, isotopic age.

The research was carried out within the state assignment of Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. AAAA-A19-119072990020-6 and No. AAAA-A18-118053090045-8).

REFERENCES

1. Pronin A. A. 1960, *Karbon vostochnogo sklona Srednego Urala* [Carboniferous of the eastern slope of the Middle Urals]. Sverdlovsk, 230 p.
2. Koroteev V. A., Dianova T. V., Kabanova L. Ya. 1979, *Srednepaleozoyskiy vulkanizm Vostochnoy zony Urala* [Middle Paleozoic volcanism in the Eastern zone of the Urals], 129 p.
3. Annenkova M. N., Rapoport M. S. 1985, State geological map of the USSR scale 1:200 000. Ser. Sredneural'skaya. Sheet O-41-XXXIII, 161 p.
4. Shalaginov V. V. 1998, Legend of the Sredneural'skaya series of the State Geological Map of the Russian Federation scale 1:200 000 (second edition). St. Petersburg, 156 p.
5. Korovko A. V., Dvoeglazov D. A. 2002, State geological map of the Russian Federation scale 1: 200 000. Ser. Sredneural'skaya. Sheet O-41-XXXII.
6. Smirnov V. N., Korovko A. V. 2007, *Paleozoyskiy vulkanizm vostochnoy zony Srednego Urala* [Paleozoic volcanism of the eastern zone of the Middle Urals]. Geodynamics, magmatism, metamorphism and ore formation: collection of scientific works. Ekaterinburg, pp. 395–420.
7. Ivanov K. S., Kontorovich V. A., Puchkov V. N., Fedorov Yu. N., Yerokhin Yu. V. 2014, Tectonics of the Urals and the basement of West Siberia: Geology and development features. *Geologiya i mineral'no-syr'yevyye resursy Sibiri* [Geology and mineral resources of Siberia], no. 2, pp. 22–35. (In Russ.)
8. Kucheva N. A., Stepanova T. I., Volchek E. N. 2007, *Geologicheskoye stroeniye kamennougol'nykh obrazovaniy v nizhnem techenii r. Kamysheinka* (bassey n. Iset', vostochnyy sklon Srednego Urala) [Geological structure of coal formations in the lower reaches of the Kamysheinka river (basin of the Iset River, eastern slope of the Middle Urals)]. Yearbook-2006: proceedings of Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, pp. 37–42.
9. Dianova T. V. 1975, *O nekotorykh fatsiyakh rannekamennougol'nykh vulkanitov Vostochnoy zony* [On some facies of Early Carboniferous volcanics of the Eastern zone]. Paleovolcanism of the Urals. Sverdlovsk, pp. 99–107.
10. Zaitseva M. V., Pupyshv A. A., Shchapova Yu. V., Votyakov S. L. 2016, U–Pb dating of zircons using the NexION 300S inductively coupled

*v.chervyakovskiy@mail.ru

**volchek@igg.uran.ru

- plasma quadrupolar mass spectrometer and the NWR 213 laser ablation attachment. *Analitika i kontrol'* [Analytics and control], vol. 20, no. 4, pp. 294—306 (*In Russ.*). <https://doi.org/10.15826/analitika.2016.20.4.006>
11. Andersen T. 2002, Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb. *Chemical Geology*, vol. 192, issues 1-2, p. 59—79. [https://doi.org/10.1016/s0009-2541\(02\)00195-x](https://doi.org/10.1016/s0009-2541(02)00195-x)
12. Volchek E. N., Slobodchikov E. A., Pritchkin M. E., Chervyakovsky V. S. 2018, *O petrogeokhimicheskom sostave vulkanogennykh porod v vizeyskikh otlozheniyakh na vostoке Srednego Urala* [On the petrogeochemical composition of volcanic rocks in the Visean deposits in the east of the Middle Urals], *Yearbook-2017*, issue 165, pp. 80—84.
13. Volchek E. N., Necheukhin V. M. 2012, Petrogeochemical features of volcanogenic rocks of the Sukholozhskaya zone (eastern segment of the Middle Urals) and their significance for geodynamic reconstructions. *Litosfera* [Lithosphere], no. 3, pp. 146—150. (*In Russ.*)
14. Sun S. S., McDonough W. E. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the oceanic basins*. London: Geol. Soc. Spec. Publ., no. 42, pp. 313—345. <http://dx.doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
15. Hoskin P. W. O. 2005, Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of Hadean zircon from the Jack Hills, Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 69, issue 3. 637—648. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.07.006>
16. Balashov Yu. A., Skublov S. G. 2011, Contrast of geochemistry of magmatic and secondary zircons. *Geokhimiya* [Geochemistry], no. 6, pp. 622—633. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.1134/S0016702911040033>
17. Skublov S. G., Lobach-Zhuchenko S. B., Guseva N. S., Gembitskaya I. M., Tolmacheva E. V. 2009, Distribution of rare earth and trace elements in zircons from miaskite lamproites of the Panozersky complex of Central Karelia. *Geokhimiya* [Geochemistry], no. 9, pp. 958—971. (*In Russ.*)
18. Bouvier A.-S., Ushikubo T., Kita N. T., Cavosie A. J., Kozdon R., Valley J. W. 2012, Li isotopes and trace elements as a petrogenetic tracer in zircon: insights from Archean TTGs and sanukitoids. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 163, pp. 745—768. <https://doi.org/10.1007/s00410-011-0697-1>
19. Bochkarev V. V., Yazeva R. G. 2000, *Subshchelochnoy magmatizm Urala* [Subalkaline magmatism of the Urals]. Ekaterinburg, 255 p.

The article was received on January 26, 2021