

О. Г. ШУЛЯТИН (ВНИИОкеангеология),
Б. В. БЕЛЯЦКИЙ (ВСЕГЕИ), А. А. КРЕМЕНЕЦКИЙ (ИМГРЭ)

Геохимические и изотопно-геохронологические исследования полихронных цирконов из магматических пород Срединно-Атлантического хребта и некоторые особенности его строения

Исследованы полихронные цирконы магматических пород базит-ультрабазитового состава Срединно-Атлантического хребта. Датирование цирконов привело к открытию ряда особенностей формирования океанической коры. Было установлено, что наряду с молодыми цирконами, чей возраст близок времени излияния кайнозойских базальтов, в породах встречаются и более древние (ксеногенные) цирконы. Определены отличия молодых и древних цирконов по морфологическим особенностям, внутреннему строению, температуре кристаллизации и содержанию в них РЗЭ. Выявлена дискретность концентраций датировок цирконов, совпадающих по времени проявления с тектоно-магматическими эпохами на прилегающих континентах. С привлечением геологических данных представляется, что современная кора Атлантического океана состоит из комплекса основания, сложенного дислоцированными и метаморфизованными породами базит-ультрабазитового комплекса архейско-палеозойского возраста и перекрывающих их неметаморфизованных эффузивных и осадочных пород плейстоцен-голоценового комплекса.

Ключевые слова: *Срединно-Атлантический хребет, датирование, полихронный циркон, протокора.*

O. G. SHULYATIN (VNIIOkeangeologia),
B. V. BELYATSKY (VSEGEI), A. A. KREMENETSKY (IMGRE)

Geochemical and geochronological studies of polychronic zircons in igneous rocks from the Mid-Atlantic Ridge and some features of its structure

Polychronic zircons in basite-ultrabasite igneous rocks from the Mid-Atlantic Ridge have been studied. A number of features distinguishing oceanic crust formation were discovered following the zircons' age determination. It was found out, that along with young zircons, whose age is close to the time of Cenozoic basalt eruption, more ancient (xenogenic) zircons occur in the rocks. It was determined how young zircons differ from ancient ones in their morphological features, internal structure, crystallization temperature, and REE content. Discrete concentrations in zircon dating, coinciding in their manifestation time with tectonic-magmatic epochs in the adjacent continents were identified. In accordance with the geological data, it appears that the present crust in the Atlantic Ocean represents a basement composed of Archean-Paleozoic basite-ultrabasite dislocated and metamorphosed rocks along with Pleistocene-Holocene unmetamorphosed effusive and sedimentary rocks.

Keywords: *Mid-Atlantic Ridge, age determination, polychronic zircon, protocrust.*

Как цитировать эту статью: Шулятин О. Г., Беляцкий Б. В., Кременецкий А. А. Геохимические и изотопно-геохронологические исследования полихронных цирконов из магматических пород Срединно-Атлантического хребта и некоторые особенности его строения // Регион. геология и металлогения. — 2019. — № 77. — С. 11–19.

Срединно-Атлантический хребет (САХ) в настоящее время является одним из наиболее исследованных в геологическом плане хребтов Мирового океана. Повышенный интерес к изучению его строения и эволюции геологического развития в первую очередь обусловлен тем, что в его пределах выявлено множество рудопроявлений глубинных полиметаллических сульфидов, представляющих промышленную значимость. С целью обнаружения крупных месторождений полиметаллических сульфидов три государства (Россия, Франция и Польша) подали заявки в Международный орган по мор-

скому дну и получили участки на заявленных площадях вдоль осевой зоны САХ, где проводят достаточно детальные геолого-поисковые и разведочные работы. Материалом для данной работы послужил собранный нами и ПМГРЭ каменный материал и все доступные отечественные и зарубежные публикации.

В строении САХ принимают участие магматические породы, представленные как излияниями базальтов, так и плутоническими образованиями габбро-ультрабазитового комплекса, перекрытые тонким плащом очень слаболитифицированных океанических осадков. Последние в днище

рифтовой долины нередко полностью отсутствуют, а в бортах рифта мощность их обычно не превышает 10 м. Среди магматических пород доминирующее площадное распространение занимают излияния базальтов. Породы габбро-ультрабазитового комплекса в структуре хребта имеют подчиненное значение, но в целом в САХ они широко распространены.

Одним из первых, кто анализировал геологическое строение САХ и пришел к выводу о разновозрастности слагающих его магматических образований, был А. В. Пейве [12]. Он обоснованно считает, что в строении этого хребта участвуют два комплекса пород: нижний, названный им метаморфическим, сложенный в основном измененными и тектонизированными кристаллическими базит-ультрабазитовыми породами, и верхний осадочно-вулканогенный, недислоцированный и неметаморфизованный.

Аргументация представлений А. В. Пейве не была принята сторонниками плейттектонической гипотезы развития океанов, в основе которой — аккреция океанической коры в приосевых зонах срединно-океанических хребтов, где обнажаются самые молодые магматические образования: как эффузивные, так и плутонические породы габбро-ультрабазитового комплекса, а также постулируется образование всех магматических пород из единого приповерхностного магматического очага.

Кристаллические породы габбро-ультрабазитового комплекса в САХ и эскарпах некоторых трансверсивных хребтов имеют региональное распространение. Они нередко прослеживаются на десятки и даже сотни километров, но все же при преобладающем площадном развитии базальтов. Эти глубинные породы, представленные в разной степени метаморфизованными разновидностями габброидов и серпентинизированных перидотитов [14], послужили в количественном отношении главным объектом радиологических исследований и определения их возраста. Как показали первые геохронологические определения возраста магматических пород, выполненные по цирконам (SHRIMP и «классическим» методом), породообразующим минералам и валовым пробам пород из приосевой зоны САХ, были выявлены разновозрастные датировки — от кайнозоя до докембрия включительно [21]. Эти данные явно противоречили плейттектонической концепции о нахождении в осевой зоне хребта только молодых магмообразований (кайнозой-раннемезозойского возраста). При этом древние докайнозойские радиологические датировки были определены не только для плутонических пород габбро-ультрабазитового комплекса, но и метабазальтов, метапикритов и диабазов. Древние датировки свидетельствуют о том, что частично излияния этих эффузивных и внедрение плутонических пород происходили еще в период докайнозойского магматизма и рифтинга. В это время площади современной Атлантики, по-видимому, представляли собой

область с древней субконтинентальной (?) литосферной мантией. Выявленные дискретные датировки радиологического возраста распадаются на несколько возрастных групп, которые совпадают с планетарными тектоно-магматическими эпохами на континентах, что, очевидно, может свидетельствовать о согласованном во времени геодинамическом развитии материков и разделяющих их пространств (впоследствии занятых океаном). Упорядоченный (дискретный) характер распределения возрастов пород отражает многоэтапность проявления магматизма на САХ [22]. Древние плутонические образования иногда сопровождалась излияниями эффузивных пород, что подтверждается идентификацией метабазальтов, метадолеритов и метапикритов, комплементарных по возрасту древним кристаллическим породам (протогора). Следует отметить, что в единичных образцах габброидов нашей коллекции не были обнаружены полихронные цирконы, а присутствовали только цирконы с древними датировками. Наличие протокоры не только на САХ, но и на значительных площадях Атлантики в целом подтверждается и геологическими данными, приведенными ниже.

Датирование и изучение циркона из пород океанической коры (габброиды, базальты, абиссальные перидотиты), благодаря развитию локальных методов анализа, в последние годы привели к открытию ряда особенностей формирования океанической коры [33, 36, 39]. В частности, было установлено, что наряду с молодыми цирконами, чей возраст близок времени излияния базальтов [7, 16, 17, 39], в породах встречаются и более древние цирконы [1, 3, 10, 17, 19, 21, 36, 41]. Их происхождение разными исследователями трактуется часто с противоположных позиций, и полной ясности в этом вопросе до сих пор нет [8]. Наиболее распространенная точка зрения — эти цирконы ксеногенные, захвачены породами океана при формировании расплавов в мантии или по пути их следования к поверхности при частичной ассимиляции верхнемантийного вещества [7, 19, 37]. При этом подразумевается, что в мантию попадают цирконы и породы, их вмещающие, изначально коровые, в процессе палеосубдукции [20, 24] или в процессе раскрытия океана (roll-over [36]). Если предположить возможность существования в глубокой мантии или даже на границе ядра и нижней мантии гипотетического «кладбища слэбов» [41] с разновозрастными кристаллическими породами, то возникает вопрос, как долго в таких экстремальных условиях может сохраниться изотопно-геохронологическая информация в цирконах, учитывая, что температуры нижней мантии достигают 1800 °С и более. Экспериментальные работы по диффузии свидетельствуют, что частичная гомогенизация, элементная и изотопная, будет достигнута в зернах циркона в течение первых десятков тысяч лет [27] и, хотя сам циркон при этом и может сохраниться как минеральный индивид [9], возрастная память о предшествующей

его истории должна быть утеряна. Об этом же свидетельствуют высокотемпературные эксперименты на единичных зернах цирконов, сопровождаемые локальными SHRIMP анализами изотопных систем, и модельные расчеты вероятности проявления унаследованных возрастов при датировании единичных зерен в сформированной случайным образом многомерной выборке из образца породы с унаследованной компонентой [25]. Таким образом, чтобы сохранить свой древний изотопный возраст, цирконы «субдуцированных слэбов» должны быть блокированы от температурного и флюидного воздействия окружающей мантии, что представляется проблематичным, но возможным для ряда геодинамических моделей, использующих понятие ограниченной конвекции в мантии [35]. Континентальное происхождение этих цирконов также требует доказательства, так как во многих случаях не только морфологическая форма, но и состав микроэлементов не позволяет трактовать эти цирконы как производные континентальных расплавов [5, 13, 30, 40]. Необходимо отметить, что и петролого-геохимических свидетельств контаминации базитовых расплавов веществом континентальной коры также обнаружить, как правило, не удается [29].

Для отдельных образцов габброидов и перидотитов иногда получают тренды в изотопных координатах, которые, если их рассматривать как следствие накопления радиогенных изотопов, могут свидетельствовать об их относительно древнем возрасте [27]. В некоторых случаях такие тренды – мантийные изохроны – могут быть получены и по пороодообразующим минералам этих габброидов. Возможное образование таких изохрон в процессах смешения вещества расплавов или мантийных источников рассмотрено в ряде работ [27, 38]. Тем не менее полностью исключить возрастное значение подобных трендов нельзя. Тем более, что очень часто получаемые изохронные возраста совпадают или очень близки уран-свинцовым возрастам древних цирконов океанических пород, что, с нашей точки зрения, является чрезвычайно важным наблюдением [21]. Учитывая большую инертность Sm-Nd изотопной системы по сравнению с более подвижными Rb-Sr, K-Ar и U-Th-Pb системами, можно ожидать, что сохранность геохронологической информации (линейность трендов в изохронных координатах) для минеральных Sm-Nd изохрон, построенных по результатам изотопного анализа пороодообразующих минералов габброидов, будет более высокой. И полученные нами ранее [21] Sm-Nd изохронные датировки ряда габброидов из района 13°–16° с. ш. САХ по совокупностям пороодообразующих минералов и валовых проб, вполне вероятно, отвечают возрасту формирования этих пород на более раннем этапе корообразования, несмотря на сильнопроявленные процессы вторичных изменений этих пород. Такая интерпретация возраста габбро-перидотитов из рифтовой зоны современного САХ согласуется с предложенными в ряде публикаций для других регионов

Земли (Иберийский полуостров, Альпы, Урал и др. [15, 28–31, 34]) и подтверждает полученные ранее древние датировки пород САХ [18, 32].

Исследование зерен океанических цирконов, которые были выделены из образцов наименее измененных пород (габброноритов, габбро-долеритов) и драгированных в районе 13°–16° с. ш., позволило установить их типоморфные и геохимические особенности, температуры кристаллизации, а с помощью SHRIMP II локального метода изотопного анализа определить возраст их образования в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ. Необходимо отметить, что выход цирконов при выделении из этих образцов пород варьировал в широких пределах от 40–50 до 300 зерен на образец весом 2–3 кг. Главной особенностью выделенных популяций зерен циркона является присутствие в изученных образцах двух типов зерен. Первый представлен прозрачными

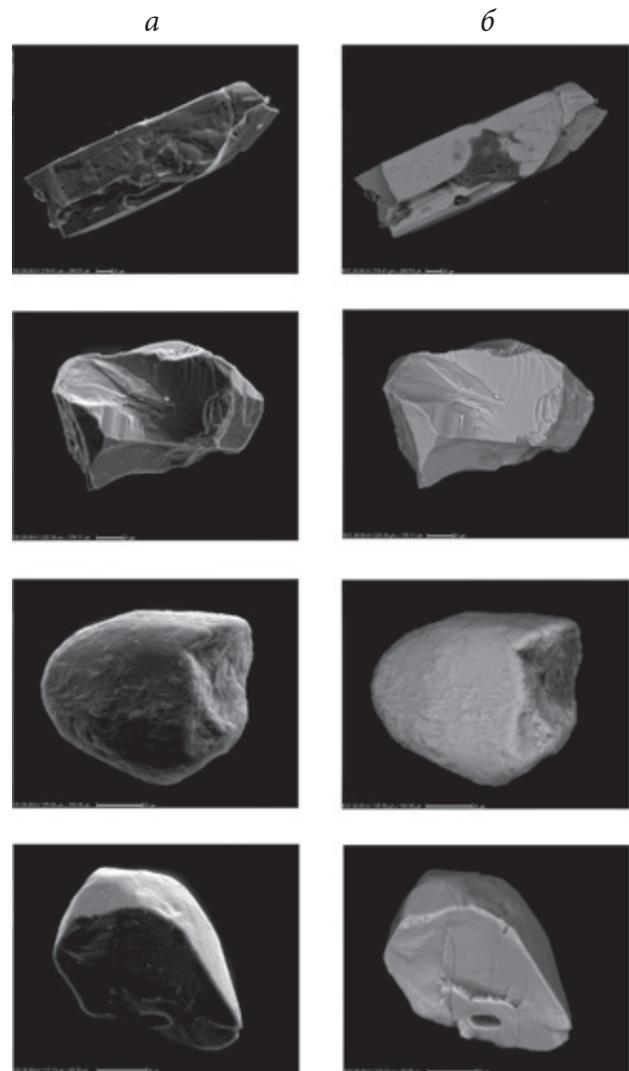


Рис. 1. Морфологические разновидности зерен циркона из популяции (35 зерен) одного из изученных образцов оливинового габбро

Представлены изображения: *a* – во вторичных электронах (поверхностная топография зерен) и *б* – обратно отраженных электронах (частично отражающих приповерхностный состав зерен)

или слабоокрашенными зернами призматического габитуса от короткостолбчатых до длиннопризматических зерен с преимущественным развитием граней простых призм (рис. 1). При этом, как правило, сами грани хорошо сохраняются и легко идентифицируются. Размеры зерен могут сильно варьировать – от десятков до сотен микрон. В катодной люминесценции (КЛ) этот циркон характеризуется типично магматической зональностью, выраженной в зависимости от среза либо секториальной, либо полосчатой зональностью. Вторая группа представлена окрашенными в желто-коричневые тона зернами гиацитного габитуса с оплавленными гранями и ребрами. Размеры зерен также изменчивы, но в меньшей степени, и практически отсутствуют зерна крупного размера (более 150–200 мкм). Зональность в КЛ – отчетливая концентрическая (магматическая), но усложненная дополнительно развитыми во внешних зонах яркими светлыми полосами неправильной формы. Количественные соотношения циркона указанных двух типов сильно отличаются от образца к образцу – от 10 до 80 % зерен в изученных образцах представлены зернами первой группы.

Уран-свинцовый изотопный возраст изученных цирконов подтверждает наличие резко разновозрастных зерен в изученных образцах в каждой из выделенных популяций циркона. Для зерен циркона первого типа возраст не превышает 1 млн лет (усредненная оценка – $861 \pm \pm 29$ тыс. лет [21], или при внесении поправочного коэффициента на начальную торий-урановую неравновесность при кристаллизации циркона из расплава – 1039 ± 18 тыс. лет), тогда как второй тип характеризуется докембрийским возрастом – не моложе 260–290 млн лет (в зависимости от конкретного образца). Максимальное количество продатированных зерен этого типа приходится на конкордантные оценки возраста в интервале 2630–2700 и 1750–1790 млн лет [21, 22]. Следует отметить, что и ранее при изучении цирконов различных морфотипов из габброидов САХ нашей коллекции, которые были продатированы

классическим U-Pb методом изотопного разбавления, наряду с древними датировками отмечались и молодые значения возраста для единичных зерен [21].

Геохимические характеристики (содержание РЗЭ, U, Th, Pb, Hf) этих двух типов циркона также существенно различаются между собой (рис. 2). Содержание урана для молодого циркона варьирует от 450 до 850 ppm (в отдельных зернах до 1800 ppm), а отношение Th/U от 0,7 до 2,95. Для цирконов второго типа (древних) содержание урана не превышает 350 ppm, а Th/U – от 0,4 до 0,9. При этом спектры распределения редкоземельных элементов древних цирконов отличаются обогащенным характером со слабопроявленным цериевым пиком $(Ce/Ce)^*$ от 1 до 12 (для молодых цирконов $(Ce/Ce)^*$ от 30 до 90) и слабоотрицательной европиевой аномалией $(Eu/Eu)^*$ от 0,1 до 0,07 (для молодых $\ll 0,1$). А распределение легких РЗЭ на диаграмме имеет плоский характер, так величина $(Sm/La)_n$ отношения изменяется от 1–10 до 150, тогда как молодые цирконы обладают резко выраженным фракционированным спектром ЛРЗЭ: интервал величин отношения $(Sm/La)_n$ достигает 100–750. В то же время степень фракционирования тяжелых РЗЭ у циркона обоих типов сходна: величина нормированного отношения $(Lu/Gd)_n$ изменяется от 2 до 30. Температура кристаллизации циркона по титановому термометру соответствует 700°C для молодых и от 800 до 850°C для древних. Величина измеренного изотопного отношения гафния $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ монотонно возрастает от древних к молодым цирконам: от 0,281115 до 0,283397, что соответствует в пересчете на величины ϵ_{Hf} начального изотопного состава изменению от +0,2 до +22,1. Необходимо подчеркнуть, что изотопный состав гафния изученных цирконов свидетельствует о происхождении их из обедненного в различной степени источника, причем, если для молодых и наиболее древних (2700 млн лет) цирконов этот источник близок составу деплетированной мантии, то для циркона с возрастом 1750 млн лет источник имеет более обогащенный

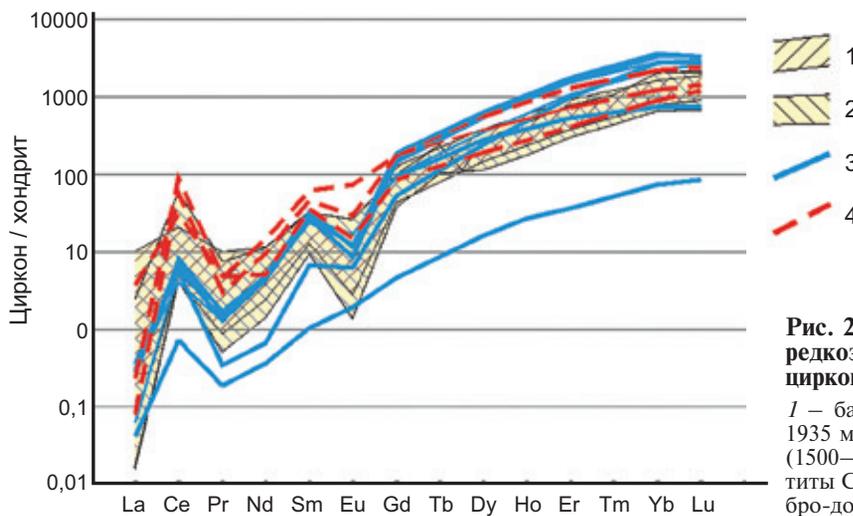


Рис. 2. Диаграмма состава и распределения редкоземельных элементов в океанических цирконах по [10, 11]

1 – базальты и габбро-долериты СЛО (1794–1935 млн лет); 2 – габбро и перидотиты САХ (1500–1900 млн лет); 3 – габброиды и перидотиты САХ (0,8–11 млн лет); 4 – базальты и габбро-долериты СЛО (97–153 млн лет)

характер (ϵ_{Hf} варьирует от +0,2 до +3,4). Необходимо также отметить, что циркон изученных образцов по геохимии и изотопному составу несколько отличается от приведенных в работах [7, 8, 11]. Это связано прежде всего с ограниченным разнообразием как по возрастным, так и геохимическим характеристикам изученных нами зерен циркона. Так, например, среди изученных зерен отсутствовали разновидности с отрицательными значениями эpsilon гафния, тогда как в работе [11] значительная доля (до 30 %) зерен имеет величину $\epsilon_{\text{Hf}} < 0$, более того, эта характеристика отдельных зерен достигает величины -13, сопоставимой с аналогичным значением, типичным для архейской коры.

На диаграмме относительной вероятности проявления возрастов (рис. 3), кроме других научных данных, вынесены и наши, полученные при уран-свинцовом датировании циркона из пород САХ. На рисунке объединены результаты изотопного анализа единичных зерен, выполненного методом ТИМС и локальными методами с использованием ионного микрозонда SHRIMP II и лазерной абляции с ИСП-МС. На общей диаграмме (более 850 анализов) хорошо видно, что возраст цирконов варьирует в широких пределах от 100 тыс. лет до 3200 млн лет. При этом большая часть анализов соответствует времени излияний молодых базальтов, сопровождавших современный рифтинг в пределах САХ (≤ 5 млн лет). Очевидно, что такой результат определяется местом драгирования изученных образцов, многие из которых собраны в пределах рифтовой долины САХ, и новообразование циркона в них соответствует, вероятнее всего, вре-

мени взаимодействия просачивающихся базальтовых расплавов с габбро-перидотитами [26]. Вторым по представительности на диаграмме является пик, соответствующий возрасту около 1800 млн лет. Примерно одинаковым количеством анализов представлены возрастные пики 300 и 500 млн лет. Менее представительные, но отчетливо проявленные пики с возрастными 2700 и 1000 млн лет. Все они имеют типичную асимметрию с выположением со стороны больших возрастов, что свойственно возрастным кривым, характеризующим пики орогенных событий на континентах, где размывание возрастных пиков объясняется присутствием унаследованных цирконов, наличием метаморфических оболочек на унаследованных более древних ядрах циркона и т. д. Все перечисленные выше возрастные пики могут быть сопоставлены с этапами активизации и переработки континентальной коры на сопредельных с Атлантикой континентах (кольская, беломорская, карельская, свекофеннская, готская, гренвильская, кадомская, герцинская, альпийская эпохи по [6]). Возможно, что более мелкомасштабные вариации возрастной кривой также могут быть связаны с орогеническими событиями Северного полушария [22], так как большая часть возрастных оценок получена по образцам из северной части САХ.

При сравнении диаграммы (рис. 3) с аналогичными распределениями возрастов циркона из магматитов Северного Ледовитого океана и эффузивов Исландии [11] хорошо видно их некоторое различие – так для последних (цирконы СЛО и Исландии) характерен основной возрастной пик в интервале 400–500 млн лет

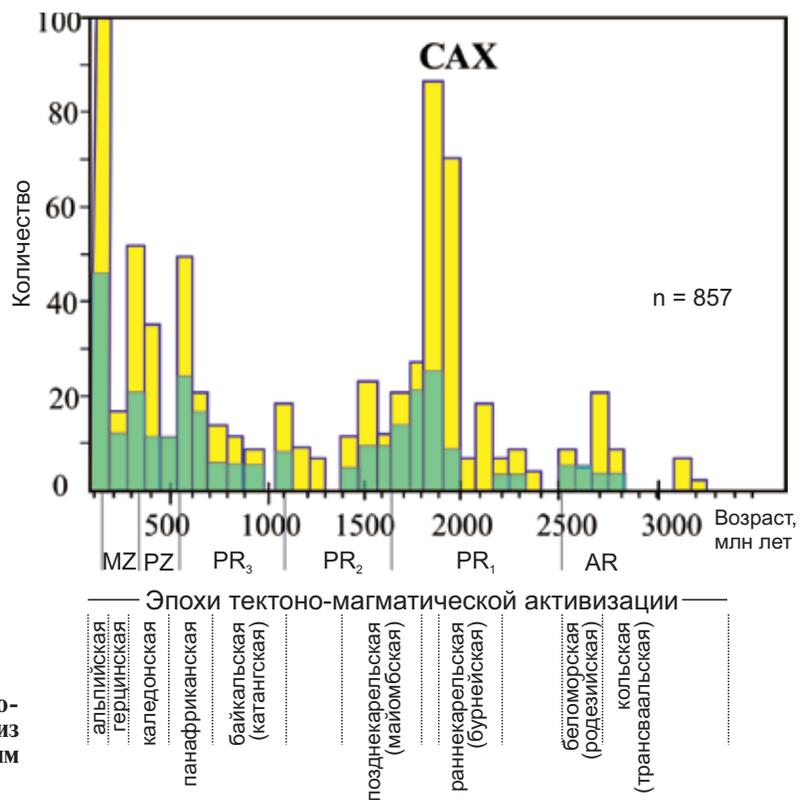


Рис. 3. Гистограмма частоты встречаемости циркона соответствующего возраста из океанических базитов по авторским и другим данным

и дополнительные с примерно равным представительством в интервалах 1000–1200, 1600–1800, 2500–2700 млн лет. Как и для цирконов САХ, среди этих популяций присутствуют и молодые цирконы, но если для Исландии возраст таких зерен сопоставим с возрастом цирконов САХ – менее 1 млн лет, то для цирконов СЛО – наиболее молодые цирконы соответствуют интервалу 90–100 млн лет (проявлению плюмового магматизма высокоширотной Арктики).

Таким образом, цирконы магматических пород несут ценную изотопно-геохимическую и геохронологическую информацию не только о последнем магматическом этапе развития океанической коры, связанном с мезо-кайнозойским рифтингом, но также и о доокеанической эволюции протокоры и сублитосферной мантии, развитие которой сопровождало орогенные процессы в коре.

Выполненные многочисленные радиологические определения возраста магматических пород по цирконам, другим породообразующим минералам и валовым пробам различными методами и выявленные дискретные датировки, группирующиеся в определенные возрастные интервалы, свидетельствуют о разновозрастной и многоэтапной активизации не только на САХ, но и в прилегающих регионах Атлантики. Сгущение датировок совпадает по времени с проявлениями тектоно-магматической активизации на прилегающих континентах [21, 22], что может свидетельствовать о согласованном геодинамическом развитии площадей материков и разделяющих их океанов в геологическом прошлом.

Упомянутые выше геологические данные, подтверждающие наличие древней протокоры на площадях современной акватории Атлантики, в целом немногочисленны. Приведем лишь некоторые из них:

1. В бортах значительно удаленных друг от друга трансформных разломов Вима, Атлантис и Романш была обнаружена горизонтально залегающая толща известняков, перекрывающая с несогласием дислоцированные и метаморфизированные породы габбро-ультрабазитового комплекса. Эта толща в районе разлома Вима по профилю МОВ-ОГТ была прослежена на 50-километровом отрезке, а мощность ее достигает 500 м. Возраст нижних горизонтов известняков по органическим остаткам датируется поздним миоценом (возможно, даже ранним плиоценом [23]). Эти данные свидетельствуют о том, что в домиоценовое время сформировалась протокора, которая была поднята выше уровня моря (океана?), подверглась эрозии и выветриванию в субаэральных условиях и затем опустилась до уровня неглубокого морского бассейна, где и происходило отложение известняков.

2. Как показали результаты геологического картирования, в приосевой зоне САХ между 10° и 22° с. ш., выполненных ПМГРЭ, базальты и породы габбро-ультрабазитового комплекса

имеют два вида контактов между собой. Базальты либо изливались на породы габбро-ультрабазитового комплекса, либо соотношения между ними тектонические. В последнем случае происходило протрузивное внедрение плутонических пород в ранее сформированную толщу базальтов. Примером тому могут служить массивы этих пород в районах рудных узлов Ашадзе, Семенов, 13°30' с. ш. и др. Идея внедрения габбро-ультрабазитовых пород в форме протрузий существует давно, и ее придерживается большинство исследователей. Об этом также свидетельствуют нередко фиксируемые факты залегания в бортах рифтовой долины (на одном и том же борту) и на склонах трансверсивных хребтов на тех же батиметрических уровнях тектонизированных и метаморфизованных плутонических и эффузивных пород. Такие соотношения позволяют рассматривать выходы пород габбро-ультрабазитового комплекса как тектонические блоки, перемещенные из низов коры или верхней мантии в виде протрузий в верхние структурные этажи. Тем не менее и в настоящее время предпринимаются попытки доказать магматический генезис этих пород.

Таким образом, геологическими данными подтверждается многократность проявления как магматической, так и тектонической активизации в регионе, часть из которых происходила еще в докайнозойский период развития, и временные датировки были выявлены радиологическими методами.

3. Анализируя геологические материалы, в частности, результаты геологического картирования в приосевой зоне САХ, мы все больше находим подтверждений тому, что в становлении этой гигантской морфоструктуры преобладающими были не горизонтальные перемещения литосферных плит, а субвертикальные тектонические движения. Огромное количество аргументов, подтверждающих это представление, приводится в фундаментальных монографиях Б. А. Блюмана и А. М. Жирнова [1, 2, 4]. Б. А. Блюман, проанализировавший первичные материалы подавляющего большинства скважин бурения в Мировом океане, и в частности в Атлантике, выявил во многих из них наличие кор выветривания, которые образовались в субаэральных условиях на поверхности коренных пород ложа океана. Этот факт неоспоримо свидетельствует о том, что до становления океана многие площади находились выше уровня моря и представляли собой сушу. Кроме того, исследователем утверждается, что «рифтовые структуры срединно-океанических хребтов являются самыми молодыми и автономными в пространстве и времени по отношению к ранее сформированным структурам» (по нашей терминологии, протокоровые образования) [1, 2].

По нашим представлениям, приведенные данные демонстрируют, что рифтогенная структура САХ была заложена на ранее сформированной коре основания, и это подтверждается

выявленными многочисленными древними датировками пород в зоне спрединга САХ, на его флангах и в других частях океана.

Таким образом, мы вслед за другими авторами можем заключить, что современная кора Атлантического океана состоит из комплекса основания, сложенного дислоцированными и метаморфизованными базит-ультрабазитовыми породами архейско-позднепалеозойского возраста и перекрывающимися их неметаморфизованными эффузивными мезо-кайнозойскими породами. Последние несогласно перекрыты слабометаморфизованным плейстоцен-голоценовым осадочным чехлом.

Авторы выражают глубокую благодарность А. С. Сотниковой (ВНИИОкеангеология) за помощь в подготовке статьи.

1. Блюман Б. А. Земная кора океанов. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. — 344 с.

2. Блюман Б. А. Актуальные вопросы геологии океанов и геологии континентов. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. — 398 с.

3. Бортников Н. С. Находки молодых и древних цирконов в габброидах впадины Маркова, Срединно-Атлантический хребет, 5°30,6'–5°32,4' с. ш. (результаты SHRIMP II U–Pb датирования): значение для понимания глубинной геодинамики современных океанов / Н. С. Бортников, Е. В. Шарков, О. А. Богатиков, Т. Ф. Зингер, Е. Н. Лепехина, А. В. Антонов, С. А. Сергеев // Докл. РАН. — 2008. — Т. 421, № 2. — С. 240–248.

4. Жирнов А. М. Северный трехлучевой неподвижный мегаконтинент Земли: открытие века. — Владивосток: Дальнаука, 2016. — 184 с.

5. Зингер Т. Ф. Влияние пластических деформаций в цирконах на их химический состав: на примере габброидов из спрединговой зоны Срединно-Атлантического хребта, впадины Маркова, 6° с. ш. / Т. Ф. Зингер, Н. С. Бортников, Е. В. Шарков, С. Е. Борисовский, А. В. Антонов // Докл. РАН. — 2010. — Т. 433, № 6. — С. 785–791.

6. Короновский Н. В., Милановский Е. Е. Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. — М.: Недра, 1973. — 280 с.

7. Костицын Ю. А. Цирконы габброидов из осевой зоны Срединно-Атлантического хребта: U–Pb возраст и ¹⁷⁶Nf/¹⁷⁷Nf отношение (результаты исследований с помощью лазерной абляции) / Ю. А. Костицын, Е. А. Белоусова, Н. С. Бортников, Е. В. Шарков // Докл. РАН. — 2009. — Т. 428, № 5. — С. 654–658.

8. Костицын Ю. А. Современные проблемы геохимических и U–Pb геохронологических исследований циркона в океанических породах / Ю. А. Костицын, Е. А. Белоусова, С. А. Силантьев, Н. С. Бортников, М. О. Аносова // Геохимия. — 2015. — № 9. — С. 771–800.

9. Краснобаев А. А., Анфилов В. Н. Цирконы и проблема происхождения дунитов // Докл. РАН. — 2014. — Т. 456. — С. 310–313.

10. Кременецкий А. А., Громалова Н. А. Природа древних цирконов из пород Срединно-Атлантического хребта и поднятия Менделеева в Северном Ледовитом океане // Фундаментальные исследования. — 2013. — № 10 (3). — С. 594–600.

11. Кременецкий А. А. Источники вещества магматических пород глубоководного ложа Северного Ледовитого океана и Центральной Атлантики по данным U–Pb возраста, изотопии гафния и геохимии РЗЭ цирконов / А. А. Кременецкий, Н. А. Громалова, С. Г. Сколотнев, О. Г. Шулятин, Е. А. Белоусова // Докл. РАН. — 2017. — Т. 481, № 1. — С. 852–856.

12. Пейве А. В. Тектоника Срединно-Атлантического хребта // Геотектоника. — 1975. — № 5. — С. 3–17.

13. Петрова В. В., Сколотнев С. Г., Чистякова Н. И. Особенности состава акцессорного циркона из туфов горы Картера (поднятие Сьерра-Леоне, Восточная Атлантика) // Докл. РАН. — 2010. — Т. 431, № 1. — С. 67–71.

14. Погребницкий Ю. Е., Трухалев А. И. Происхождение глубинных базит-гипербазитовых пород — ключевая проблема геологии Срединно-Атлантического хребта // Российская Арктика: геология, история, минералогия, геоэкология. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. — С. 49–62.

15. Савельева Г. Н. Полихронное образование мантийных комплексов в офиолитах / Г. Н. Савельева, В. Г. Батанова, Н. Г. Бережная, С. Л. Пресняков, А. В. Соболев, С. Г. Скублов, И. А. Белоусов // Геотектоника. — 2013. — Т. 47, № 3. — С. 43–57.

16. Силантьев С. А. Геохимическая природа и возраст плагиогранит/габброноритовой ассоциации в океаническом плутоническом комплексе Срединно-Атлантического хребта на 5°10' ю. ш. / С. А. Силантьев, Й. Кепке, А. А. Арискин, М. О. Аносова, Е. А. Краснова, Е. О. Дубинина, Г. Зур // Петрология. — 2014. — Т. 22, № 2. — С. 126–146.

17. Сколотнев С. Г. Молодые и древние цирконы из пород океанической литосферы Центральной Атлантики, геотектонические следствия / С. Г. Сколотнев, В. Е. Бельтнев, Е. Н. Лепехина, И. С. Ипатьева // Геотектоника. — 2010. — № 6. — С. 24–59.

18. Трухалев А. И. Древний K–Ar возраст метагаббро и гранитоидов, драгированных в осевой части Срединно-Атлантического хребта, 26° с. ш. / А. И. Трухалев, С. А. Силантьев, Н. А. Куренцова, Ю. Ю. Одинокоев, Г. Б. Удинцев, О. И. Колосов, И. П. Федоров, А. М. Леников, И. М. Васильева, Е. Р. Друбецкой // ДАН СССР. — 1990. — Т. 311, № 6. — С. 1447–1452.

19. Шарков Е. В. Мезозойский циркон из габброидов осевой зоны Срединно-Атлантического хребта, 6° с. ш. / Е. В. Шарков, Н. С. Бортников, О. А. Богатиков, Б. В. Беляцкий, Т. Ф. Зингер, С. Г. Сколотнев // Докл. РАН. — 2004. — Т. 396, № 5. — С. 675–679.

20. Шарков Е. В. Третий слой океанической коры в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта (сегмент Сьерра-Леоне САХ, 6° с. ш.) / Е. В. Шарков, Н. С. Бортников, О. А. Богатиков, Т. Ф. Зингер, В. Е. Бельтнев, А. В. Чистяков // Петрология. — 2005. — Т. 13, № 6. — С. 592–625.

21. Шулятин О. Г. Структурно-тектоническая позиция и возраст плутонических мафических-ультрамафических комплексов САХ / О. Г. Шулятин, С. И. Андреев, Б. В. Беляцкий, А. И. Трухалев // 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. — С. 392–408.

22. Шулятин О. Г. Возраст и этапность формирования магматических пород Срединно-Атлантического хребта по геологическим и радиологическим данным / О. Г. Шулятин, С. И. Андреев, Б. В. Беляцкий, А. И. Трухалев // Регион. геология и металлогения. — 2012. — № 50. — С. 28–36.

23. Aumby M. P. et al. Paleontological evidence for early exposure of deep oceanic crust on the Vema Fracture Zone Southern Wall (Atlantic Ocean, 10°45') // Mar. Geology. — 1992. — Vol. 107, N 1/2. — P. 1–7.

24. Bea F., Fershtater G. B., Montero P., Whitehouse M., Levin V. Ya., Scarrow J. H., Austrheim H., Pushkarev E. V. Recycling of continental crust into the mantle as revealed by Kytlym dunite zircons, Ural Mts, Russia // Terra Nova. — 2001. — Vol. 13. — P. 407–412.

25. Bindeman I., Gurenko A., Carley T., Miller C., Martin E., Sigmarrson O. Silicic magma petrogenesis in Iceland by remelting of hydrothermally altered crust based on oxygen isotope diversity and disequilibria between zircon and magma with implications for MORB // Terra Nova. — 2012. — Vol. 24. — P. 227–232.

26. Cherniak D. J. Diffusion in accessory minerals: zircon, titanite, apatite, monazite and xenotime // *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*. – 2010. – Vol. 72. – P. 827–869.
27. Dosso L., Bougault H., Langmuir C. et al. The age and distribution of mantle heterogeneity along the Mid-Atlantic Ridge (31°–41°N) // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 1999. – Vol. 170. – P. 269–286.
28. Frotzheim N., Rubatto D. Continental breakup by detachment faulting: field evidence and geochronological constraints (Tasna nappe, Switzerland) // *Terra Nova*. – 1998. – Vol. 10. – P. 171–176.
29. Gardien V., Paquette J. L. Ion microprobe and ID-TIMS U-Pb dating on zircon grains from leg 173 amphibolites: evidence for Permian magmatism on the West Iberian margin // *Terra Nova*. – 2004. – Vol. 16. – P. 226–231.
30. Grimes C. B., John B. E., Cheadle M. J., Mazdab F. K., Wooden J. L., Swapp S., Schwartz J. J. On the occurrence, trace element geochemistry, and crystallization history of zircon from in situ ocean lithosphere // *Contrib. Mineral. Petrol.* – 2009. – Vol. 158. – P. 757–783.
31. Lagabrielle Y., Bodinier J. -L. Submarine reworking of exhumed subcontinental mantle rocks: field evidence from the Lherz peridotites, French Pyrenees // *Terra Nova*. – 2008. – Vol. 20. – P. 11–21.
32. Melson W. G., Hart S. R., Thompson G. St. Paul's rocks, equatorial Atlantic: petrogenesis, radiometric ages and implications on sea-floor spreading // *Memor. Geol. Soc. Amer.* – 1972. – Vol. 132. – P. 241–272.
33. Michael P. J., Cheadle M. Making a crust // *Science*. – 2009. – Vol. 323. – P. 1017–1018.
34. Muntener O., Pettke Th., Desmurs L., Meier M., Schaltegger U. Refertilization of mantle peridotite in embryonic ocean basins: trace element and Nd isotopic evidence and implications for crust-mantle relationships // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 2004. – Vol. 221. – P. 293–308.
35. O'Reilly S. Y., Zhang M., Griffin W. L., Begg G., Hronsky J. Ultradeep continental roots and their oceanic remnants: a solution to the geochemical "mantle reservoir" problem? // *Lithos*. – 2009. – Vol. 211. – P. 1043–1054.
36. Pilot J., Werner C. D., Haubrich F., Baumann N. Paleozoic and Proterozoic zircons from the Mid-Atlantic Ridge // *Nature*. – 1998. – Vol. 393. – P. 676–679.
37. Puga E., Fanning C. M., Nieto J. M., Federico A. D. Recrystallization textures in zircon generated by ocean-floor and eclogite-facies metamorphism: a cathodoluminescence and U-Pb SHRIMP study, with constraints from REE elements // *The Canadian Mineralogist*. – 2005. – Vol. 43. – P. 183–202.
38. Rudge J. F. Mantle pseudo-isochrons revisited // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 2006. – Vol. 249. – P. 494–513.
39. Schmitt A. K., Perfit M. R., Rubin K. H., Stockli D. F., Smith M. C., Cotsonika L. A., Zellmer G. F., Ridley W.I., Lovera O. M. Rapid cooling rates at an active mid-ocean ridge from zircon thermochronology // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 2011. – Vol. 302. – P. 349–358.
40. Schulz B., Klemm R., Bratz H. Host rock compositional controls on zircon trace element signatures in metabasites from the Australpine basement // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 2006. – Vol. 70. – P. 697–710.
41. Sharkov E. V. Cyclic development of axial parts of slow-spreading ridges: evidence from Sierra Leone area, the Mid-Atlantic Ridge, 5–7°N // *Tectonics – recent advances*. – 2012. – P. 3–36.
- Discoveries of young and ancient zircons in gabbroids of the Markov depression, Mid-Atlantic Ridge, 5°30.6'–5°32.4' N (results of SHRIMP II U-Pb dating): importance for understanding the deep geodynamics of modern oceans). *Doklady RAN*. 2008. Vol. 421. No 3, pp. 240–248. (In Russian).
4. Zhirnov A. M. Severnyj trekhluchovoj nepodvizhnyj megakontinent Zemli: otkrytie veka [Northern three-beam stationary megacontinent of the Earth: the discovery of the century]. 2016. Pp. 1–183.
5. Zinger T. F., Bortnikov N. S., Sharkov E. V., Borisovskiy S. E., Antonov A. V. The effect of plastic deformations in zircons on their chemical composition: using the example of gabbroids from the spreading zone of the Mid-Atlantic Ridge, Markov Basin, 6° N. *Doklady RAN*. 2010. Vol. 433. No 6, pp. 785–791. (In Russian).
6. Koronovskij N. V., Milanovskij E. E. Orogennyj vulkanizm i tektonika Al'pijskogo poyasa Evrazii [Orogenic volcanism and tectonics of the Alpine belt of Eurasia]. Moscow: Nedra. 1973. 280 p.
7. Kosticyn Yu. A., Belousova E. A., Bortnikov N. S., Sharkov E. V. Zircons of gabbroids from the axial zone of the Mid-Atlantic Ridge: U-Pb age and 176Hf / 177Hf ratio (results of research using laser ablation). *Doklady RAN*. 2009. Vol. 428. No 5, pp. 654–658. (In Russian).
8. Kosticyn Yu. A., Belousova E. A., Silantev S. A., Bortnikov N. S., Anosova M. O. Current problems of geochemical and U-Pb geochronological studies of zircon in oceanic rocks. *Geohimiya*. 2015. No 9, pp. 771–800. (In Russian).
9. Krasnobaev A. A., Anfilogov V. N. Zircons and the problem of dunite origin. *Doklady RAN*. 2014. Vol. 456, pp. 310–313. (In Russian).
10. Kremenetsky A. A., Gromalova N. A. Nature of ancient zircons from the rocks of the Mid-Atlantic Ridge and Mendeleev Rising in the Arctic Ocean. *Basic research*. 2013. No 10, pp. 594–600. (In Russian).
11. Kremenetsky A. A., Gromalova N. A., Skolotnev S. G., Shulyatin O. G., Belousova E. A. Sources of matter of igneous rocks of the deep-sea bed of the Arctic Ocean and Central Atlantic according to U-Pb age, hafnium isotopy, and the geochemistry of REE zircons. *Doklady RAN*. 2017. Vol. 481. No 1, pp. 852–856. (In Russian).
12. Peyve A. V. Tectonics of the Mid-Atlantic Ridge. *Geotektonika*. 1975. No 5, pp. 3–17. (In Russian).
13. Petrova V. V., Skolotnev S. G., Chistyakova N. I. Features of the accessory zircon from the tufts of Mount Carter (Sierra Leone uplift, East Atlantic). *Doklady RAN*. 2010. Vol. 431. No 1, pp. 67–71. (In Russian).
14. Pogrebickiy Yu. E., Truhalev A. I. The origin of the deep basite-hyperbasite rocks is a key problem of the geology of the Mid-Atlantic Ridge. *Russian Arctic: geology, history, mineralogy, geoecology*. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya. 2002. Pp. 49–62. (In Russian).
15. Saveleva G. N., Batanova V. G., Berezhnaya N. G., Presnyakov S. L., Sobolev A. V., Skublov S. G., Belousov I. A. Polychronic formation of mantle complexes in ophiolites. *Geotektonika*. 2013. Vol. 47. No 3, pp. 43–57. (In Russian).
16. Silantev S. A., Kepke Y., Ariskin A. A., Anosova M. O., Krasnova E. A., Dubinina E. O., Zur G. The geochemical nature and age of the plagiogranite/gabbro-norite association in the oceanic plutonic complex of the Mid-Atlantic Ridge in the region of 5°10'S. *Petrologiya*. 2014. Vol. 22. No 2, pp. 126–146. (In Russian).
17. Skolotnev S. G., Beltenev V. E., Lepekhina E. N., Ipateva I. S. Young and ancient zircons from the rocks of the oceanic lithosphere of the Central Atlantic, geotectonic consequences. *Geotektonika*. 2010. No 6, pp. 24–59. (In Russian).
18. Truhalev A. I., Silantev S. A., Kurencova N. A., Odinokov Yu. Yu., Udincev G. B., Kolosov O. I., Fedorov I. P., Lennikov A. M., Vasileva I. M., Drubeckoy E. R. The ancient K-Ar age of metagabbro and granitegneiss, dredged in the axial part of the Mid-Atlantic Ridge, 26° N. *DAN SSSR*. 1990. Vol. 311. No 6, pp. 1447–1452. (In Russian).

19. Sharkov E. V., Bortnikov N. S., Bogatkov O. A., Belyatsky B. V., Zinger T. F., Skolotnev S. G. Mesozoic zircon from gabbroids of the axial zone of the Mid-Atlantic Ridge, 6° N. *Doklady RAN*. 2004. Vol. 396. No 5, pp. 675–679. (In Russian).
20. Sharkov E. V., Bortnikov N. S., Bogatkov O. A., Zinger T. F., Beltenev V. E., Chistyakov A. V. The third layer of oceanic crust in the axial zone of the Mid-Atlantic Ridge (segment of Sierra Leone MAR, 6° N). *Petrologiya*. 2005. Vol. 13. No 6, pp. 592–625. (In Russian).
21. Shulyatin O. G., Andreev S. I., Belyatsky B. V., Truhalev A. I. Structural-tectonic position and age of plutonic mafic-ultramafic complexes of the MAR. *VNIIOkeangeologiya*. St. Petersburg. 2008. Pp. 392–408. (In Russian).
22. Shulyatin O. G., Andreev S. I., Belyatsky B. V., Truhalev A. I. Age and stages of formation of igneous rocks of the Mid-Atlantic Ridge according to geological and radiological data. *Region. geologiya i metallogeniya*. 2012. No 50, pp. 28–36. (In Russian).
23. Aumby, M. P. et al. 1992: Paleontological evidence for early exposure of deep oceanic crust on the Vema Fracture Zone Southern Wall (Atlantic Ocean, 10°45'). *Mar. Geology*. 107. 1/2. 1–7.
24. Bea, F., Fershtater, G. B., Montero, P., Whitehouse, M., Levin, V. Ya., Scarrow, J. H., Austrheim, H., Pushkarev, E. V. 2001: Recycling of continental crust into the mantle as revealed by Kytlym dunite zircons, Ural Mts, Russia. *Terra Nova*. 13. 407–412.
25. Bindeman, I., Gurenko, A., Carley, T., Miller, C., Martin, E., Sigmarsson, O. 2012: Silicic magma petrogenesis in Iceland by remelting of hydrothermally altered crust based on oxygen isotope diversity and disequilibria between zircon and magma with implications for MORB. *Terra Nova*. 24. 227–232.
26. Cherniak, D. J. 2010: Diffusion in accessory minerals: zircon, titanite, apatite, monazite and xenotime. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*. 72. 827–869.
27. Dosso, L., Bougault, H., Langmuir, C. et al. 1999: The age and distribution of mantle heterogeneity along the Mid-Atlantic Ridge (31°–41°N). *Earth Planet. Sci. Lett.* 170. 269–286.
28. Froitzheim, N., Rubatto, D. 1998: Continental breakup by detachment faulting: field evidence and geochronological constraints (Tasna nappe, Switzerland). *Terra Nova*. 10. 171–176.
29. Gardien, V., Paquette, J. L. 2004: Ion microprobe and ID-TIMS U-Pb dating on zircon grains from leg 173 amphibolites: evidence for Permian magmatism on the West Iberian margin. *Terra Nova*. 16. 226–231.
30. Grimes, C. B., John, B. E., Cheadle, M. J., Mazdab, F. K., Wooden, J. L., Swapp, S., Schwartz, J. J. 2009: On the occurrence, trace element geochemistry, and crystallization history of zircon from in situ ocean lithosphere. *Contrib. Mineral. Petrol.* 158. 757–783.
31. Lagabrielle, Y., Bodinier, J. -L. 2008: Submarine reworking of exhumed subcontinental mantle rocks: field evidence from the Lherz peridotites, French Pyrenees. *Terra Nova*. 20. 11–21.
32. Melson, W. G., Hart, S. R., Thompson, G. 1972: St. Paul's rocks, equatorial Atlantic: petrogenesis, radiometric ages and implications on sea-floor spreading. *Memor. Geol. Soc. Amer.* 132. 241–272.
33. Michael, P. J., Cheadle, M. 2009: Making a crust. *Science*. 323. 1017–1018.
34. Muntener, O., Pettke, Th., Desmurs, L., Meier, M., Schaltegger, U. 2004: Refertilization of mantle peridotite in embryonic ocean basins: trace element and Nd isotopic evidence and implications for crust-mantle relationships. *Earth Planet. Sci. Lett.* 221. 293–308.
35. O'Reilly, S. Y., Zhang, M., Griffin, W. L., Begg, G., Hronsky, J. 2009: Ultradeep continental roots and their oceanic remnants: a solution to the geochemical "mantle reservoir" problem? *Lithos*. 211. 1043–1054.
36. Pilot, J., Werner, C. D., Haubrich, F., Baumann, N. 1998: Paleozoic and Proterozoic zircons from the Mid-Atlantic Ridge. *Nature*. 393. 676–679.
37. Puga, E., Fanning, C. M., Nieto, J. M., Federico, A. D. 2005: Recrystallization textures in zircon generated by ocean-floor and eclogite-facies metamorphism: a cathodoluminescence and U-Pb SHRIMP study, with constraints from REE elements. *The Canadian Mineralogist*. 43. 183–202.
38. Rudge, J. F. 2006: Mantle pseudo-isochrons revisited. *Earth Planet. Sci. Lett.* 249. 494–513.
39. Schmitt, A. K., Perfit, M. R., Rubin, K. H., Stockli, D. F., Smith, M. C., Cotsonika, L. A., Zellmer, G. F., Ridley, W. I., Lovera, O. M. 2011: Rapid cooling rates at an active mid-ocean ridge from zircon thermochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.* 302. 349–358.
40. Schulz, B., Klemd, R., Bratz, H. 2006: Host rock compositional controls on zircon trace element signatures in metabasites from the Australpine basement. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 70. 697–710.
41. Sharkov, E. V. 2012: Cyclic development of axial parts of slow-spreading ridges: evidence from Sierra Leone area, the Mid-Atlantic Ridge, 5–7°N. *Tectonics – recent advances*. 3–36.

Шулятин Олег Германович – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. акад. И. С. Грамберга (ВНИИОкеангеология им. И. С. Грамберга). Английский пр., 1, Санкт-Петербург, 190121, Россия. <Oleg.shul@mail.ru>

Беляцкий Борис Владимирович – вед. инженер, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия. <bbelyatsky@mail.ru>

Кременецкий Александр Александрович – доктор геол.-минерал. наук, советник ген. директора, Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ). Ул. Вересаева, 15, Москва, 121357, Россия. <nauka@imgre.ru>

Shulyatin Oleg Germanovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after Igor Gramberg (VNIIOkeangeologia named after I. S. Gramberg). 1 Angliyskiy pr., St. Petersburg, 190121, Russia. <Oleg.shul@mail.ru>

Belyatsky Boris Vladimirovich – Leading Engineer, A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia. <bbelyatsky@mail.ru>

Kremenetsky Aleksandr Aleksandrovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Adviser General Director, Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements (IMGRE). 15 Ul. Veresaeva, Moscow, 121357, Russia. <nauka@imgre.ru>