

О Т З Ы В

**Официального оппонента на диссертацию Сколотнева Сергея Геннадьевича
«Регулярные и региональные вариации состава и строения океанической коры и
структуры океанического дна Центральной, Экваториальной и Южной Атлантики»,
представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук
по специальности 25.00.03 – геотектоника и геодинамика**

Диссертационная работа С.Г. Сколотнева посвящена одной из актуальных проблем в науках о Земле – реконструкции геодинамических факторов, контролирующих формирование геохимической и геофизической сегментации срединно-океанических хребтов. Обнаружение признаков геохимической сегментации, проявленной в базальтовом слое вдоль простирающейся осевой зоны Срединно - Атлантического хребта (САХ) (Schilling *et al.*, 1983; Klein, Langmuir, 1987; Bougault *et al.*, 1988; Дмитриев, 1998; Dosso *et al.*, 1991; 1999), стимулировало многочисленные исследования, направленные на выяснение природы мантийных резервуаров, генерирующих расплавы, родительские для MORB. Существующие данные позволяют уверенно полагать, что мантийному субстрату под осевой зоной САХ свойственна вещественная гетерогенность, которая отчетливо прослеживается в вариациях содержаний некогерентных элементов и изотопных характеристик не только в базальтоидах рифтовой, но и в ассоциирующих с ними габброидах и перидотитах. Однако, проблема генетического соответствия всего ансамбля пород океанического фундамента, включающего базальтоиды, габбро и перидотиты, до сих пор остается одной из наиболее интригующих в морской геологии. Несомненный прогресс в исследованиях, ведущихся в рамках этой проблемы, наметился в последние два десятилетия, благодаря появлению данных сейсмической томографии, позволяющих судить о тепловом и реологическом состоянии мантии под гребневой зоной САХ. С.Г. Сколотнев в своей работе попытался использовать все существующие данные, аттестующие геодинамические параметры процесса петрогенезиса в гребневой зоне САХ, что позволило ему получить ряд выводов, важных для понимания фундаментальных закономерностей, ответственных за формирование литосферы Атлантического океана. Представленная к защите работа по существу является синтезом огромного объема данных, накопленных в результате почти тридцатилетнего опыта экспедиционных работ ГИН РАН, проводившихся в ходе многих рейсов российских научно-исследовательских судов. С.Г.Сколотневу принадлежит большая роль в получении этих данных, поскольку он участвовал в восьми рейсах НИС «Академик Николай Страхов» в Центральную, Экваториальную и Южную акватории Атлантического океана, в которых он принимал деятельное участие в планировании и руководстве геологическими изысканиями. Кроме

этого диссертант проводил опробование океанического ложа гребневой зоны САХ во время рейсов НИС «Академик Иоффе», «Академик Вавилов», «Геленджик» и «Профессор Логачев». Многие из полученных в указанный период результатов были опубликованы в 4 монографиях и 35 статьях, в которых С.Г.Сколотнев являлся автором и соавтором.

Актуальность проблемы, решению которой посвящена работа определяется накопленными в последние два десятилетия эмпирическими данными о характере наблюдаемых корреляций между признаками реологической и петролого-геохимической сегментаций САХ, которые свидетельствует о том, что в осевой зоне САХ реализуются два главных геодинамических сценария: 1) формирование в «горячих» сегментах САХ нормальной базальтовой коры за счет плавления малоглубинной мантии с характеристиками DM при участии в процессах петрогенезиса вещества латеральных плюмовых потоков; 2) Образование в «холодных» сегментах САХ коры Хессовского типа, в строении которой возможно принимают участие представители мантийного субстрата, не вовлекавшегося в современный магматизм рифтовой долины. Вдоль всего простираения осевой зоны САХ в северном полушарии чередуются нормальные сегменты хребта (Пенроузская кора) с аномальными сегментами (Хессовская кора). В соответствии с этой закономерностью гидротермальные поля САХ образуют два семейства: расположенные в базальтовом субстрате и в перидотитовом. Таким образом, существует несомненная связь между гидротермализмом САХ и его вещественной сегментацией. В предлагаемой к защите работе представлен огромный объем данных, позволяющих значительно расширить существующие представления о главных факторах определяющих геохимическую специфику мантийных резервуаров, продуцирующих MORB и рудную специализацию гидротермальных полей, расположенных в коровом субстрате различного происхождения.

Научная новизна работы заключается в мульти-дисциплинарном подходе, который применил автор диссертации для решения рассматриваемой в работе фундаментальной проблемы. К этому следует добавить, что огромный объем оригинальных данных, который использовал автор диссертации в своем исследовании позволил ему по-новому интерпретировать геодинамический режим аккреции океанической литосферы в ряде рассмотренных им регионов бассейна Атлантического океана. Некоторые районы гребневой зоны САХ (например, хребет Ресерчер) аттестованы в геохимическом и геодинамическом отношении С.Г. Сколотневым впервые.

Практическая значимость работы заключается в несомненной важности, содержащихся в ней сведений о строении и вещественном составе комплексов пород, вмещающих крупные гидротермальные поля Атлантики, для прогноза и поисков рудных месторождений, связанных с активными гидротермальными системами центров спрединга Мирового океана.

Диссертация, объёмом 568 страниц машинописного текста, состоит из введения, семи глав и заключения. Список литературы, использованной в диссертации включает 491 наименование работ: отечественных и зарубежных авторов, содержит 146 рисунков и 11 таблиц.

В введении обоснована актуальность, цель и задачи данной работы, указаны объекты исследований, определены научная новизна и практическая значимость результатов исследования, представлена структура работы, а также приведены сведения о ее апробация.

Первая глава посвящена методическим аспектам работы и очерку геологического и географического положения объектов изучения. Приводятся данные о истории геологического развития бассейна Атлантического океана. В этой главе содержатся также краткие сведения о технологии батиметрической съемки и сейсмопрофилирования, проводившихся в экспедициях, в которых участвовал автор диссертации. В первой главе перечислены все виды аналитических исследований состава пород и минералов из коллекций драгированных образцов, а также указаны спецификации использованных для этих исследований приборов.

Вторая глава посвящена обсуждению современных представлений о составе, строении, происхождении и эволюции океанической коры. В главе даны определения таких фундаментальных понятий как «спрединг», «мантийный апвеллинг», «частичное плавление», «трансформные разломы», «мантийные плюмы», «сегментация» и т.п.. Вторая глава имеет важное значение для понимания идеологии представленного в диссертации исследования и позволяет ориентироваться во взглядах диссертанта на наиболее дискуссионные положения современной морской геологии (например, «плюмовой тектоники»). Обзор существующих моделей петрогенезиса и синтез использованных в них данных, позволил диссертанту сформулировать главную проблему, решению которой он посвятил свою работу: реконструкция главных факторов, определяющих «регулярные, региональные и случайные вдольосевые вариации состава и строения коры и строения дна...» (терминология диссертанта).

В третьей главе приводится подробное описание тектонического строения океанического дна Атлантического океана между разломами Монтевидео и Зеленого Мыса. Содержание этой главы бесспорно представляет большой интерес не только в контексте темы диссертационной работы, но и как источник важной информации о геологическом и тектоническом строении огромной акватории, включающей гребневую зону САХ, заключенную между 35° ю.ш. и 15° 20' с.ш. В главе детально обсуждаются особенности рельефа и тектонических событий, характерных для четырнадцати опорных полигонов, данные о строении океанического фундамента которых послужили основой для проведенного диссертантом исследования. Синтез приведенных в третьей главе данных позволил С.Г. Сколотневу предложить свою интерпретацию происхождения и развития аномальных спрединговых ячеек; их распределения вдоль оси САХ и выделить его сегменты, не относящиеся к спрединговым ячейкам. В третьей главе диссертант, опираясь на данные о кинематике спрединга в различных сегментах САХ,

выделил «тектонические над-провинции», в которых спрединг имеет квазистационарное направление.

Четвертая глава посвящена анализу и геодинамической интерпретации данных о изотопно-геохимических особенностях базальтов из осевой и гребневой зон САХ в Центральной Атлантике. Здесь приводятся сведения о содержании в этих породах главных и редких элементов и о изотопном составе в них Sr, Nd и Pb. Содержащиеся в четвертой главе данные в полной мере аттестуют изотопно-геохимические параметры базальтов, распространенных в Центральной Атлантике. Диссертантом было предпринято сопоставление состава закалочных стекол и ассоциирующих с ними полнокристаллических базальтов, из результатов которого следует, что содержания окислов некоторых индикаторных элементов (Na_2O , MgO) обнаруживают существенные различия в двух рассмотренных петрографических типах MORB. И использованные в главе данные позволили диссертанту представить картину «вдольосевых» (как у автора) вариаций состава базальтов, отражающую геохимическую сегментацию осевой зоны САХ. Особый интерес вызывают данные о изотопно-геохимических особенностях базальтоидов хребте Ресерчер, который является одним из наименее изученных объектов в гребневой зоне САХ. На основании данных о изотопном составе Sr, Nd и Pb диссертант в рамках существующей изотопной таксономии мантийных резервуаров предпринял попытку идентификации геохимической природы источников магматизма САХ и предложил модель «тектонического вхождения блоков континентальной литосферы в океанскую конвектируемую мантию». В этой же главе диссертант вводит и обосновывает концепцию микроплюмов, которая играет важную роль в предлагаемой в диссертации модели формирования регулярных, региональных и случайных вдоль-осевых вариаций состава корового субстрата САХ. Непротиворечиво выглядит высказанная в четвертой главе гипотеза диссертанта о существовании под гребневой зоной САХ между разломами Зеленого Мыса и Марафон блоков холодной континентальной литосферы, инкорпорированных в субокеаническую мантию.

В пятой главе рассмотрены типы плутонических комплексов осевой и гребневой зон САХ в центральной части Атлантики. Содержание главы предваряется кратким обзором существующих представлений о строении и составе третьего слоя океанической коры, что позволяет предположить приверженность диссертанта канонической модели спрединга. Как и в предыдущем разделе диссертации, особую ценность материала, изложенного в этой главе, представляют оригинальные данные о составе и строении плутонических комплексов центральной Атлантики, распространенных на полигонах Сьерра Леоне, Долдрамс, Вима, САХ $15^{\circ}44'$ с.ш.. САХ $13^{\circ} - 15^{\circ}20'$ с.ш., Чейн, Романш, Сан Паулу. Базируясь на представленных данных диссертант вводит новый термин «тектоно-плутонический комплекс» для обозначения глубинных коровых образований, выведенных по разломам срыва к поверхности океанического дна. С.Г. Сколотнев выделяет восемь тектоно-магматических типов плутонических комплексов САХ, распределение которых вдоль оси хребта контролируется, по мнению диссертанта,

регулярной сегментацией осевой зоны и «фокусированием под-осевого мантийного апвеллинга». В главе также кратко рассмотрены различные аспекты возможной связи рудообразования и формированием плутонических комплексов САХ.

Шестая глава посвящена анализу состава, строения и эволюции вне-осевых линейных вулканических структур Центральной Атлантики; обсуждаются также возможные механизмы их формирования. В главе рассмотрены линейные вулканические сооружения, образованные вне осевой зоны САХ. Одним из ключевых факторов, определяющим формирование подобных вулканических подводных цепей, диссертант считает магматизм горячих точек, продуцирующий преимущественно магматические расплавы, родительские для ОИВ. Среди рассмотренных в главе объектов присутствуют подводные горы цепи Святой Елены; и расположенные к востоку от Бразильского шельфа – Байя, Пернамбуку, Витория- Тринидади, Фернанду-ди-Норонья (все в южном полушарии); и подводные горы поднятия Сьерра Леоне, Гримальди, Ресерчер (северное полушарие). В главе приводятся не только оригинальные данные о изотопно-геохимических особенностях вулканических пород, слагающих рассмотренные цепи подводных гор, но для некоторых из них методами изотопной геохронологии получены оценки возраста (U/Pb – горы Пернамбуку, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - Витория - Тринидади). Геохимическими методами диссертант получил возможность оценить глубины генерации внутриплитных расплавов. Полученные оценки позволили предполагать, что в некоторых случаях (подводные горы Тринидади и Гримальди) плавление происходило в условиях гранатовой фации глубинности.

Седьмая глава представляет синтез изложенных в предыдущих главах данных и посвящена обсуждению многообразия состава и строения океанической коры и ее тектонической эволюции в Центральной Атлантике. В главе рассмотрены закономерные связи между выделенными диссертантом спрединговыми ячейками и под-осевыми диапирами астеносферной мантии. Предложена модель формирования микроплюмов обогащенной мантии. Предпринята полезная попытка оценки роли деятельности вне-осевых плюмовых проявлений на процессы аккреции океанической литосферы в оси хребта. В главе указаны региональные особенности начального спрединга, сопутствующие раскрытию Атлантики, определяющие геохимическую природу процессов аккреции литосферы в осевой зоне САХ. Приведенные в предыдущих главах обильные данные о изотопном составе магматических комплексов САХ позволили диссертанту предложить свою систематику геохимических типов мантийных источников магматизма САХ в Центральной Атлантике. Одним из важных фрагментов содержания седьмой главы является предложенная С.Г. Сколотневым схема тектонического районирования центральной части Атлантики, основанная на выделении тектонических над-провинций, тектоно – магматических провинций, супер-сегментов и сегментов САХ.

В **Заключении** приведен обзор представленных к защите результатов работы и кратко перечислены наиболее значимые из них. Новизна и научная значимость этих результатов отражена диссертантом в четырех защищаемых положениях.

Автореферат диссертации соответствует содержанию работы и оформлен в соответствии установленным требованиям. Основные защищаемые положения сформулированы и раскрыты. По результатам диссертации опубликовано 35 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Апробация работы проходила на международных и всероссийских конференциях в период 1990-2015 гг. Заключение и выводы диссертационной работы отвечают на вопросы, поставленные в целях и задачах исследования.

Объем диссертационной работы С.Г. Сколотнева составляет около 600 страниц и, как уже отмечалось выше, диссертация посвящена одной из наиболее актуальных проблем в науках о Земле – определению геодинамических факторов, определяющих геохимическую сегментацию срединно-океанических хребтов и вещественные неоднородности мантийных резервуаров океанического магматизма. Естественно, у читателя (а тем более, официального оппонента) возникает ряд вопросов и замечаний к некоторым наиболее дискуссионным положениям, содержащимся в диссертации. К наиболее принципиальным из них относятся следующие:

- 1) Фундаментальной особенностью срединно-океанических хребтов является практически одновременное протекание процессов магматизма и метаморфизма при аккреции океанической литосферы. Однако, диссертант, оперируя огромным объемом изотопно-геохимических данных о составе вулканических и плутонических пород океанического ложа, не рассмотрел (хотя бы кратко) возможные геохимические эффекты, связанные с процессами метаморфизма и подводного выветривания, которые бесспорно влияют на параметры состава (в том числе изотопные) океанической коры.
- 2) Оппонент считает, что приведенных в диссертации данных не достаточно для разделения по составу вещества «микроплюмов» и «плюмов глубинной мантии». Это замечание касается также предположения диссертанта о том, что «микроплюмы обогащенной мантии регулярно поднимаются из низов верхней мантии в подосевую зону САХ». Таким образом, возникает необходимость привести четкие геохимические различия (если они существуют) между веществом «микроплюмов» и «плюмов глубинной мантии».
- 3) В главе 5 диссертант приходит к выводу, что появление габбро-диоритов, диоритов и плагиогранитов в составе плутонических комплексов САХ является результатом фракционирования толеитового расплава в крупной долгоживущей магматической камере или высокотемпературного взаимодействия в системе габбро/серпентинит (с. 366 – 367). При этом диссертант игнорирует многочисленные эмпирические, экспериментальные и расчетные данные (например, Коерке et al., 2004; Berndt et al.,

2005; Коерке et al., 2007; Силантьев и др., 2010, 2014), свидетельствующие в пользу происхождения этих пород за счет процесса «гидротермального анатексиса» при высокотемпературном взаимодействии габброидов с флюидом морского происхождения. К этому следует добавить, что несмотря на многолетний опыт изучения абиссальных перидотитов, автор настоящего официального отзыва, ни разу не видел четких петрографических и геохимических свидетельств процесса десерпентинизации этих пород. Оппоненту также не известны публикации, в которых содержались бы четко задокументированные признаки этого процесса. К очевидным признакам относительно высокотемпературного контактового взаимодействия габброидов и серпентинитов, по мнению оппонента, можно отнести лишь родингиты, которые образуются вследствие метасоматического преобразования ультраосновных пород при интенсивном привносе-выносе ряда элементов.

- 4) В главе 6 (с. 468) автор пишет, что образование трахибазальтов банки Витория – Тринидади, обогащенных Р и Sr, «оказалось возможным, благодаря проникновению метаморфизованной морской воды в магматическую камеру». Однако, подобное взаимодействие магматического расплава с метаморфизованной морской водой представляется сомнительным и не может быть обосновано методами физико-химической петрологии.
- 5) Диссертант грешит склонностью к созданию новых терминов, не всегда по оправданным причинам. Например, в главе 5 появляется термин «тектоноплутонический комплекс», который, вообще говоря, по смыслу является аналогом широко известного и повсеместно используемого в мировой научной литературе в последние 10 лет термина «внутренний океанический комплекс» («oceanic core complex»).
- 6) Оппонент полагает, что диссертационная работа выиграла бы, если бы диссертант при реконструкции тектонических режимов, реализуемых в осевой зоне САХ, больше внимания уделил петрологическим данным, а не изотопно-геохимическим, так как тектоническая история корового субстрата гораздо увереннее может быть восстановлена на основании изучения последовательности реакций минералообразования в породах разреза океанической коры.

К второстепенным и техническим замечаниям относится досадное отсутствие в диссертационной работе достаточного количества таблиц с первичными данными, послужившими основой для проведенного диссертантом исследования (всего 11 таблиц на работу, состоящую из семи глав и объемом почти 600 стр.!). В целом, диссертация отлично оформлена и содержит эффектные цветные карты и диаграммы. Однако, некоторые незначительные огрехи в ее оформлении все же присутствуют: например, страницы 185 – 191 помещены в перевернутом виде.

Оппонент считает, что предлагаемая к защите работа, будучи опубликованной, вызовет большой интерес и будет востребована научным сообществом. Ни в малой степени этому будут способствовать представленные в ней многочисленные оригинальные данные.

Сделанные замечания не умаляют достоинства работы и не влияют на ее положительную оценку. Представленная диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне и способствует решению фундаментальных и прикладных проблем наук о Земле, связанных с изучением геологического строения кристаллического фундамента современных океанических бассейнов. Автором выполнена большая по объему работа, имеющая как научную, так и практическую значимость. Диссертация содержит огромный массив оригинальных данных, представляющих несомненную ценность для широкого круга исследователей, изучающих различные аспекты процессов петрогенезиса в современных срединно-океанических хребтах. Работа хорошо апробирована, основные результаты отражены во многих научных публикациях автора, представленных в авторитетных периодических изданиях. На основании всего вышеизложенного считаю, что рассматриваемая диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Сколотнев Сергей Геннадьевич заслуживает присуждения ему искомой ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.03 – геотектоника и геодинамика.

Официальный оппонент
Главный научный сотрудник
ФГБУН Ордена Ленина и Ордена
Октябрьской революции Институт
Геохимии и Аналитической химии
им. В.И. Вернадского РАН
доктор геолого-минералогических наук
Силантьев Сергей Александрович
адрес: 119991, г. Москва, ул. Косыгина, 19
тел.: +7(495) 939 7027
e-mail: silantjev@geokhi.ru
20 октября 2015 г.


Я, Силантьев Сергей Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



Подпись руки *С.А. Силантьева*
Секретарю
Зас. канцелярия ГЕОХИ РАН

16.10.2015

Оппонент

- **ФИО:** Силантьев Сергей Александрович
- **Год, место рождения:** 1948, поселок Нексикан, Среднеканский район, Магаданская область
- **Адрес:** 119334 Москва, Ленинский проспект, дом 40, кв. 332
- **Паспортные данные:** паспорт 45 01 №162886, Отдел внутренних дел «Гагаринский» г. Москвы, 772-068
- **№ СНИЛС:** 019-487-734-93
- **ИНН:** 773605019550
- **Подпись** 



Силантьева С.
Зав. кафедрой ГЕОХИ РАН

- **Данные профессиональной деятельности:**
 - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской революции Институт Геохимии и Аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН
 - Главный научный сотрудник Лаборатории геохимии магматических и метаморфических пород
 - Доктор геолого-минералогических наук по специальности 04.00.10 - геология океанов и морей.
 - **список основных публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:**
 1. Силантьев С.А., Аранович Л.Я., Бортников Н.С. Океанические плагиограниты: результат взаимодействия магматической и гидротермальной систем в медленно-спрединговых срединно-океанических хребтах // Петрология. 2010. Т.18. №4. С.1-16.
 2. А.А.Новоселов, С.А. Силантьев. Гидротермальные системы Хадейского океана и их влияние на баланс вещества в системе атмосфера-гидросфера-литосфера ранней Земли // Геохимия. 2010. Т.48. №7. сс. 685 – 697.
 3. Силантьев С.А., Краснова Е.А., Каннат М., Бортников Н.С., Кононкова Н.Н., Бельтнев В.Е. Перидотит-габбро-трондьемитовая ассоциация пород Срединно-Атлантического хребта в районе 12°58' – 14°45' с.ш. : гидротермальные поля Ашадзе и Логачев // Геохимия. 2011. №3.
 4. Силантьев С.А., Новоселов А.А., Мироненко М.В. Гидротермальные системы в перидотитовом субстрате медленно-спрединговых хребтов. Моделирование фазовых превращений и баланса вещества: Роль габброидов // Петрология. 2011. Т.19, №3. 227–248
 5. Костицын Ю.А., Силантьев С.А., Белоусова Е.А., Бортников Н.С., Краснова Е.А., Каннат М. // Время формирования внутреннего океанического комплекса гидротермального поля Ашадзе, Срединно-Атлантический хребет, 12°58' с.ш. по результатам исследования циркона // Доклады Академии Наук. 2012. Т. 447. №4. СС. 1 - 5.

6. Силантьев С.А., Новоселов А.А., Краснова Е.А., Портнягин М.В., Хауфф Ф., Вернер Р. Окварцевание перидотитов разломной зоны Стелмейт (северо-запад Тихого океана): реконструкция условий низкотемпературного выветривания и их тектоническая интерпретация // Петрология. 2012. Т.20. №1. СС. 1 - 20.
7. *Picazo S., Cannat M., Delacour A., Escartín J., Rouméjon S., Silantyevev S.* Deformation associated with the denudation of mantle-derived rocks at the Mid-Atlantic Ridge 13°-15°N: the role of magmatic injections and hydrothermal alteration // *G. Geochem. Geophys. Geosyst.* 2012. 13 Q04G09. doi: 10.1029/2012 GC 004121.
8. Краснова Е.А., Портнягин М.В., Силантьев С.А., Хернле К., Вернер Р. Двух стадийная эволюция мантийных перидотитов разломной зоны Стелмейт (северо-западная Пацифика) // **Геохимия. 2013. Т.51. №9. СС.759 – 772.**
9. Силантьев С. А., Портнягин М. В., Краснова Е.А., Хауфф Ф., Вернер Р., Кузьмин Д.В. Петрология и геохимия плутонических пород северо-западной части Тихого океана и их геодинамическая интерпретация // Геохимия, 2014, № 3, с. 1-20
10. Силантьев С. А., Кепке Ю., Арискин А.А., Аносова М.О., Краснова Е.А., Дубинина Е.О., Зур Г. Геохимическая природа и возраст плагиогранит/габбро-норитовая ассоциации внутреннего океанического комплекса Срединно-Атлантического хребта на 5010' ю.ш. // Петрология, 2014, т. 22, № 2, с.1-21.
11. С. А. Силантьев, Н. С. Бортников, К. Н. Шатагин, Я. В. Бычкова, Е. А. Краснова, В. Е. Бельтнев. Перидотит-базальтовая ассоциация САХ на 19°42' - 19°59' с.ш.: оценка условий петрогенезиса и баланса вещества при гидротермальном преобразовании океанической коры // Петрология. 2015. Т.23. №1. с. 3 - 25.
12. *Krasnova E., Silantyevev S., Portnyagin M.* First data on composition of the NW Pacific Oceanic Lithosphere exposed along the Stalemate Fracture Zone // *InterRidge News.* 2013. V. 22. PP. 28-36.
13. А.А. Новоселов, С.А. Силантьев. Баланс вещества в системе атмосфера-гидросфера-литосфера ранней Земли // В: «Проблемы биосферы и ее эволюции», ред. Э.М.Галимов. 2012. сс.176 – 189
14. Е.А. Дубинина, Н.С. Бортников, С.А. Силантьев. Отношение флюид-порода при серпентинизации океанических ультраосновных пород, вмещающих гидротермальное поле Лост Сити // Петрология. 2015. Т.23. № 6. сс. 589 – 606.

- 119991 Москва, ул. Косыгина, дом 19
- 8 499 137 1484
- geokhi.ras@relcom.ru