

ГЕНЕЗИС КИСЛЫХ МАГМ

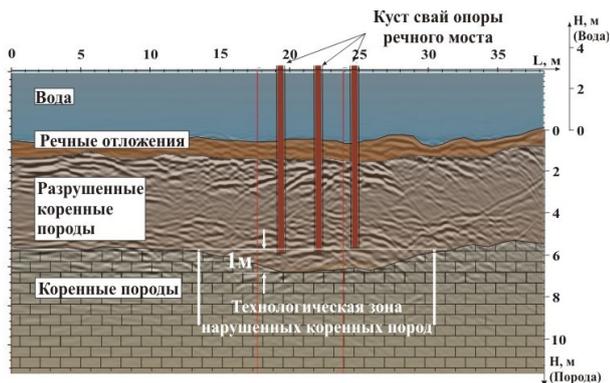


Рис.8. Георадиолокационный разрез реки, пройденный вдоль опоры моста

На рис.8 представлен георадиолокационный профиль по поверхности воды, пересекающий мост, отмечены границы, характеризующие неоднородный слой нарушенных коренных пород и факт расположения нижней границы ненарушенного массива, на $0,5 \pm 1$ м ниже уровня заложения свай. Определена глубина установки сваи в грунт – 5,8 м. Ниже, на отметке 6,5 м, прослежена граница, подтверждаемая параллельными профилями в поперечном сечении, по отметкам мощности грунта 6,1; 6,2; 5,6 м, соответственно. По интерпретации это мощность разрушенных коренных пород, что подтверждается высокой обводненностью пород (по данным измерений скоростей) и неоднородностью массива.

В результате установлена основная причина

УДК 552.11

Генезис кислых магм

В.С. Шкодзинский

В свете современных данных о горячей аккреции Земли кислая кристаллическая кора древних платформ образовалась в основном из кислых остаточных расплавов малобарического фракционирования раннего синаккреционного магматического океана. Магмы гранитных батолитов возникли в результате декомпрессионно-фрикционного переплавления кислых пород кристаллической коры. Субдукционные кислые магмы – результат малоглубинного фракционирования очагов толеитовых магм в мантии.

Ключевые слова: магматический океан, мантия, кристаллическая кора, кислые магмы.

In the light of the modern data on a hot accretion of the Earth the acid crystalline crust of ancient platforms was formed mainly from acid residual melts of low-baric fractionation of early sinaccretion magma ocean. The magmas of Granite batholiths appeared as a result of decompression-friction melting of acid rocks of the crystalline crust. Subduction acid magmas were formed as result of a low-deep fractionation of tholeiite magmas centers in the mantle.

Key words: magma ocean, mantle, crystalline crust, acid magmas.

ШКОДЗИНСКИЙ Владимир Степанович – д.г.-м.н., в.н.с. ИГАБМ СО РАН, shkodzinskiy@diamond.ysn.ru.

деформирования моста – опоры установлены в нарушенные коренные породы.

Результаты проведенных работ по георадиолокационному исследованию рек, водоемов и их донных отложений дают основание утверждать о возможности успешного применения метода георадиолокации для выявления границ подводных геологических структур и зон нарушений рельефа дна.

Практическая ценность исследований заключается в реализации рабочего макета георадиолокационной аппаратуры и апробации методики в процессе полевых работ. Проведенные научные исследования послужат эффективному решению задач в области дистанционного мониторинга донных отложений при проектировании, строительстве и эксплуатации трубопроводов на речных переходах.

Литература

1. Омеляненко А.В. Двухспектральная георадиолокация обводненных полигонов россыпных месторождений / А.В. Омеляненко, И.И. Христофоров // Проблемы комплексного освоения георесурсов: материалы III Международной научной конференции (Хабаровск, 16–18 сентября 2009 г.). – Т. 4. – Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2010. – С.60–66.

2. Христофоров И.И. Особенности георадиолокации обводненных сред / А.В. Омеляненко, И.И. Христофоров // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2012. – №9. – С.127–132.

Поступила в редакцию 11.02.2013

Кислые магматические породы являются наиболее распространенными на континентах. Ими сложена большая часть мощного кристаллического фундамента древних платформ. С ними связано множество гидротермальных месторождений. Тем не менее, проблема происхождения кислых магм и большого объема исходного кислого вещества осадочных и метаморфических пород Земли до последнего времени не имела убедительного решения, несмотря на длительное ее обсуждение. Это связано с тем, что в соответствии с господствующей в геологии гипотезой холодной гомогенной аккреции нашей планеты обычно предполагается близкий к ультраосновному пиrolитовый состав ее исходного силикатного вещества и мантии. По экспериментальным и петрологическим данным [1] выплавление кварц-нормативных магм из реальной бедной летучими компонентами мантии такого состава возможно лишь при давлении менее примерно 3–4 кб. Однако на глубине, соответствующей такому давлению, температура коры и мантии в настоящее время всегда намного меньше, чем необходимо для начала плавления мафических пород.

В двухэтапной модели Д.Х. Грина и А.Е. Рингвуда [2] предполагается, что из мантии сначала выплавлялись основные магмы. Затем возникшие из них основные породы погружались на большую глубину и преобразовывались в кварцсодержащие эклогиты. Из них выплавлялись кислые магмы. Однако в тысячах изученных ксенолитов эклогитов в кимберлитах нигде не отмечается присутствие кислых по составу прожилков и обособлений, что опровергает эту гипотезу. Кроме того, при таком происхождении кислая кристаллическая кора имела бы относительно молодой возраст. Но на самом деле ее породы являются самыми древними на Земле, возраст серых гнейсов достигает 4 млрд. лет.

Убедительное новое решение проблемы генезиса кислых магм и кислого вещества земной коры дают полученные в последние десятилетия данные об ошибочности гипотезы холодной гомогенной аккреции планет земной группы и доказательства горячего их образования [3, 4]. По разработанной модели [4, 5] выпадавший при аккреции Земли силикатный материал плавился под влиянием импактного тепловыделения и сформировал на ранее возникшем железном ядре глобальный океан магмы. Под влиянием возраставшего давления новообразованных верхних частей его придонный слой кристаллизовался. Осаждавшиеся кристаллы формировали ультраосновные кумулаты, а захороненные среди них расплавы – преимущественно основные по составу эклогиты. Вследствие понижен-

ной еще силы тяжести на сформировавшейся небольшой Земле и незначительной глубины раннего магматического океана давление на его дне при образовании колоссального объема нижней мантии было относительно невысоким (менее 5 кб). Это обусловило образование толеитовых, кварц-толеитовых, андезитовых и дацитовых по составу остаточных расплавов. Наиболее легкие кислые расплавы всплывали и сформировали верхний кислый слой магматического океана. Так образовался огромный объем исходного вещества кислой кристаллической коры древних платформ.

После прекращения аккреции в магматическом океане глубиной около 150 км, вследствие расслоенности его по составу, не возникали обширные, от поверхности до дна, конвективные потоки. Поэтому он медленно кристаллизовался и фракционировал сверху вниз преимущественно в результате кондуктивных тепопотерь. Как показали расчеты [4], из кумулатов кислого слоя сформировались серые гнейсы и эндербиты, а из остаточных расплавов – наиболее древние гранитоиды. Огромный объем кислого слоя постааккреционного магматического океана объясняет гигантский объем кислой кристаллической коры древних платформ и массовое образование в ней древнейших гранитоидов (рис. 1).

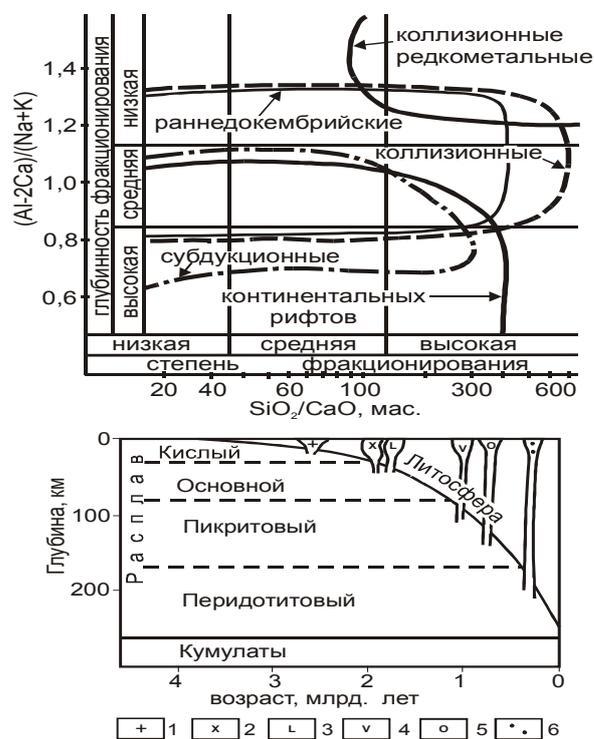


Рис. 1. Схема кристаллизации постааккреционного расслоенного магматического океана и эволюции магматизма на древних платформах.

Состав сформировавшихся магматических пород: 1 – кислый; 2 – субщелочной; 3 – анортозитовый; 4 – щелочно-ультраосновной; 5 – лампроитовый; 6 – кимберлитовый

По мере опускания фронта кристаллизации в средний и основной по составу слои магматического океана в результате высокобарического фракционирования преимущественно в протерозое возникали щелочно-гранитные, монцитовые и сиенитовые остаточные расплавы и магмы. В фанерозое фракционирование нижнего ультраосновного слоя привело к образованию большинства лампроитовых, карбонатитовых и кимберлитовых остаточных расплавов и пород. Остаточные расплавы глубинных слоев магматического океана наиболее интенсивно выжимались и всплывали в зонах тектонических деформаций формирующихся древних платформ, которые происходили под влиянием подъема и растекания вещества нижнемантийных плюмов.

Геологические наблюдения свидетельствуют о том, что еще полностью незатвердевшие гранитогнейсы глубинных метаморфических комплексов всплывали и выжимались в процессе тектонических деформаций [5]. По мере подъема их метаморфическая структура постепенно преобразовывалась в гипидиоморфно-зернистую и по облику они приближались к магматическим породам, что свидетельствует об их плавлении под влиянием декомпрессии и выделения тепла трения вязкого течения. Выполненные расчеты подтвердили возможность декомпрессионно-фрикционного (реоморфического) преобразования гранитогнейсов в кислые магмы. Как иллюстрирует рис. 2, в случае выжимания гранитогнейсов под влиянием тектонического давления в 3 кб (линии 1–5) в результате их декомпрессионно-фрикционного переплавления содержание расплава в них увеличивалось на 65%. Таким образом, в складчатых областях с кислой кристаллической корой в результате выделения тепла трения вязкого течения под влиянием одностороннего давления происходило преобразование наиболее легкоплавких пород этой коры в кислые магмы. Мощность кристаллической коры на континентах обычно составляет несколько десятков километров. Поэтому объем возникавших в ней кислых магм чаще всего был колоссальным.

Вследствие относительно небольшой температуры таких магм на малоглубинных этапах подъема после вскипания в них происходили процессы декомпрессионного затвердевания (рис. 2). Поэтому они чаще всего были не способны изливаться на земную поверхность и формировали преимущественно гранитоидные интрузии. Такое происхождение имеют гранитные батолиты, широко распространенные в складчатых областях. Проблема их происхождения интенсивно обсуждалась в прошлом сто-

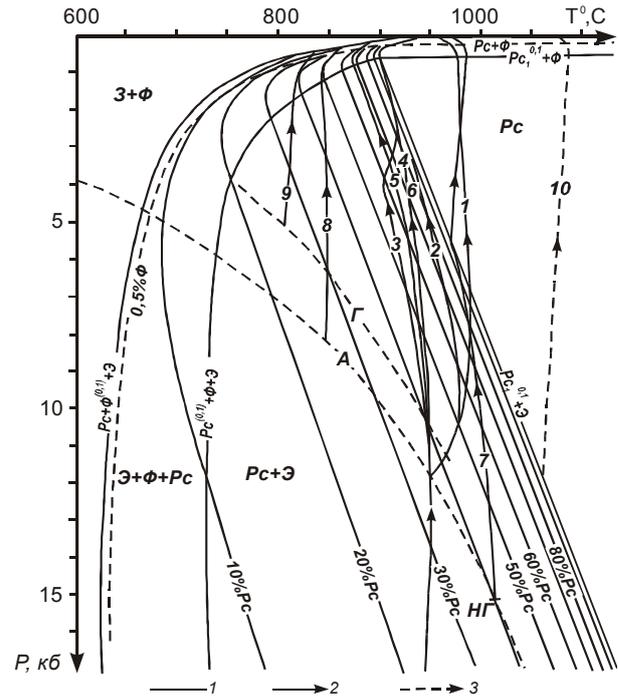


Рис.2. P-T диаграмма фазового состава гранитных магм с содержанием 1 мас.% H₂O и 0,1 мас.% CO₂: 1 – границы полей разного фазового состава; 2 – вероятные и 3 – маловероятные варианты эволюции магм при подъеме. А – геотермический палеоградиент Алданского щита; Г – более высокотемпературный градиент; НГ – предполагаемая нижняя граница распространения кислых метаморфических пород в земной коре; Pc – расплав; Ф – флюид; Э – кварц и полевые шпаты в эвтектических соотношениях. Нижний и верхний индексы – содержание соответственно воды и углекислоты в расплаве, в скобках – отношение углекислоты к воде [5]

летия, но не нашла убедительного решения. Учет современных данных о горячей аккреции Земли позволяет ее решить. По разработанной модели обычно округлые очертания гранитоидных батолитов обусловлены относительно небольшой температурой и поэтому очень высокой вязкостью их магм. С этим же и с формированием в кристаллической коре связано частое присутствие в них ксенолитов кристаллических метаморфических пород. Гранитогнейсовые купола, широко распространенные в глубинных частях коллизионных областей, являются неразвитыми гранитными батолитами или корневыми частями последних.

Образование гранитных батолитов путем декомпрессионно-фрикционного переплавления продуктов затвердевания кислого слоя магматического океана подтверждается идентичностью их состава с раннедокембрийскими гранитоидами. Это иллюстрирует рис. 3, на котором величина SiO₂/CaO по горизонтальной оси является чутким показателем степени фракциони-

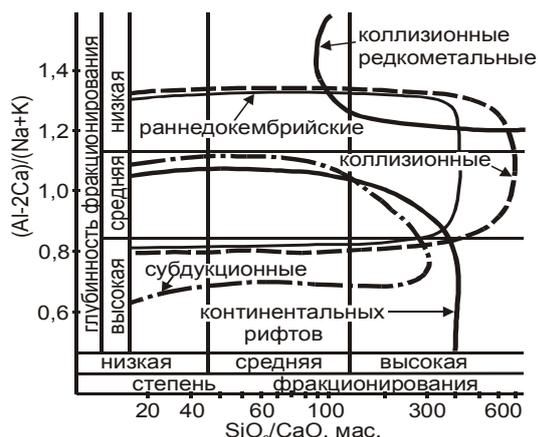


Рис.3. Соотношение $K_{Al} = (Al-2Ca)/(Na+K)$ и SiO_2/CaO в гранитоидах: раннедокембрийских Алданского щита; коллизийных и редкометалльных Главного батолитового пояса Яно-Колымской складчатой области; субдукционных и континентальных рифтов различных регионов

рования при образовании исходных магм, а значение $(Al-2Ca)/(Na+K)$ по вертикальной оси обратно величине щелочности при формировании гранитоидов [6, 7]). Судя по многочисленным экспериментальным данным, последняя величина примерно отражает глубинность фракционирования при формировании кислых расплавов.

На рисунке поле состава гранитоидов коллизийного Главного батолитового пояса Яно-Колымской складчатой области почти идеально точно совпадает с полем раннедокембрийских гранитоидов Алданского щита, расположенного примерно в тысяче километров от него. Это свидетельствует о том, что под батолитовым поясом кристаллическая кора имела тот же состав, что и на щите, вследствие образования ее в результате одного и того же процесса фракционирования глобального океана магмы. Поле коллизийных гранитоидов лишь немного дальше простирается в сторону очень высоких значений SiO_2/CaO . Это вполне закономерно, так как их исходное вещество было переплавлено под влиянием декомпрессии и фрикционного тепловыделения и иногда подвергалось более глубоким процессам внутрикамерного фракционирования, чем глубинных древних гранитоидов. Продуктом очень глубокого малобарического внутрикамерного фракционирования кислых магм являются редкометалльные литий-фтористые граниты, которые образуются на постскладчатой стадии эволюции коллизийных областей [7].

Подтверждением образования гранитных батолитов путем реоморфизма наиболее кислых пород кристаллической коры является обычно повышенная величина в них начального отно-

шения изотопов стронция (до 0,715 и более). Она связана с длительным накоплением в них радиогенного стронция за счет распада неустойчивого изотопа рубидия в исходных гранитоидах до этапа их реоморфизма. Согласуется такой генезис и с низкой величиной в них начального отношения изотопов неодима [4].

При подъеме нижнемантийных плюмов содержащиеся в них тела эколгитов должны в первую очередь переплавляться под влиянием огромной декомпрессии с формированием толеитовых и кварц-толеитовых магм. Очаги таких магм в мантии кристаллизовались и фракционировали под влиянием остывания и увеличения давления при перемещении под толстую литосферу потоками растекавшегося вещества плюмов. Судя по экспериментальным данным [2], в случае фракционирования в относительно малоглубинных условиях в них формировались кислые остаточные расплавы и магматические породы, изредка встречающиеся на океанических островах и в континентальных рифтах. В массовом количестве такие расплавы и кислые магматические породы возникали в зонах субдукции в результате глубокой кристаллизации очагов толеитовых магм под влиянием интенсивного охлаждения их опускающейся холодной океанической плитой. Это объясняет широкое распространение кислых магматических пород во многих зонах субдукции [5].

Такое происхождение подтверждается положением точек их состава на единых с толеитами трендах фракционирования [4]. Магмы субдукционных кислых пород возникали обычно в более глубинных условиях, чем таковые раннедокембрийских гранитоидов. Это обусловило их часто пониженную глиноземистость (рис. 3) и повышенную щелочность.

Таким образом, единственным процессом, приведшим к образованию кислых по составу расплавов, является малобарическое магматическое фракционирование. На стадии аккреции Земли такое фракционирование в придонной части раннего магматического океана привело к возникновению главной массы кислого вещества земной коры и образовавшихся в ней гранитоидов. Оно обусловило относительно высокое содержание кремнекислоты в формировавшихся толеитовых и кварц-толеитовых эколгитах нижней мантии. Последующее мало- и среднеглубинное фракционирование магматических очагов такого состава приводило к образованию кислых магм в зонах субдукции и в некоторых других геодинамических обстановках. Полученные результаты подтверждают справедливость представлений первой половины прошлого века о ведущей роли магматического фракциониро-

вания в формировании разнообразия состава магматических пород и свидетельствуют об ошибочности более поздних взглядов о возникновении различных магм путем выплавления с участием гипотетических процессов глубинного метасоматоза.

Магматическое фракционирование происходило в расплаве, имеющем относительно небольшую вязкость (десятки – сотни пуаз). Это обусловило большую скорость его протекания и массовое распространение таких процессов в природе. При обычно предполагаемом образовании магм путем отделения выплавки вязкость слабо подплавленных пород примерно на 16–18 порядков больше (например, вязкость астеносферы 10^{18} – 10^{20} пуаз). Поэтому процессы отделения выплавки происходят практически не могут. Гранитизация докембрия обусловлена процессами фракционирования кислого слоя магматического океана и метаморфической дифференциацией пород [4, 5], а не отделением выплавки и метасоматозом, как обычно предполагается.

Литература

1. Грин Д.Х. Состав базальтовых магм как критерий условий их возникновения при вулканизме //

Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана. – М.: Мир, 1973. – С. 242–261.

2. Грин Д.Х., Рингвуд А.Е. Происхождение магматических пород известково-щелочного ряда // Петрология верхней мантии. – М.: Мир, 1968. – С. 118–131.

3. Wood J.A., Diskey J.S., Marnin V.B., Powel B.H. Lunar anorthosites and geophysical model of Moon // Proc. Appolo XI Lunar Sci. Conf. Houston. –1970. – V. 1. – P. 965–989.

4. Шкодзинский В.С. Происхождение мантии, магм, кимберлитов и алмаза. Модель горячей аккреции Земли. – Saarbrücken, Germany: Palmarium academic publishing, 2012. – 579 с.

5. Шкодзинский В.С. Фазовая эволюция магм и петрогенезис. – М.: Наука, 1985. – 232 с.

6. Шкодзинский В.С., Зедгенизов А.Н. Природа особенностей состава кислых магматических пород в различных геодинамических обстановках // Отечественная геология. – 2004. – № 4. – С. 34–37.

7. Шкодзинский В.С., Недосекин Ю.Д., Сурнин А.А. Петрология позднемезозойских магматических пород Восточной Якутии. – Новосибирск: Наука, 1992. – 237 с.

Поступила в редакцию 04.09.2012

УДК 908:669:553.314(571.56)

Якутское кричное железо: минералого-химический состав и физико-химические условия выплавления металла из Mn–Fe лимонитовых руд

А.В. Округин, А.Е. Васильева

Приводится описание минералогического и химического состава кричного железа старого кустарного производства в Центральной Якутии. По особенностям минералов шлакового материала крицы, содержащего повышенное количество марганца, показано, что исходными рудами для выплавления металла служили бурые железняковые породы Буотамского месторождения. На основе рассмотрения фазовых диаграмм $FeO-Fe_3O_4-SiO_2$, $Fe-Fe_2O_3$ и $FeO-MnO-SiO_2$ дается интерпретация физико-химических условий выплавления железа из Mn–Fe лимонитовых руд.

Ключевые слова: крица, сыродутный процесс, металлургия, бурые железняковые руды, железо, вюстит, гематит, кнебелит, Якутия.

The mineralogical and chemical composition of bloom iron produced by locals in Central Yakutia with the use of primitive methods of work is described. Specific features of minerals from the slag of the bloom, which is enriched in manganese, indicate that the metal was melted out of brown iron ores of the Buotama deposit. Based on $FeO-Fe_3O_4-SiO_2$, $Fe-Fe_2O_3$ and $FeO-MnO-SiO_2$ phase diagrams, physical-chemical conditions of iron melting out of Mn–Fe limonite ores are interpreted.

Key words: bloom, finery process, metallurgy, brown iron ores, iron, wuestite, hematite, knebelite, Yakutia.

ОКРУГИН Александр Витальевич – д.г.-м.н., г.н.с. ИГАБМ СО РАН, a.v.okrugin@diamond.ysn.ru; ВАСИЛЬЕВА Александра Ефимовна – инженер 1-й кат. ИГАБМ СО РАН, lexy_v@rambler.ru.