

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Петрология магматических и метаморфических комплексов

Выпуск 8

Материалы Всероссийской конференции
с международным участием

29 ноября – 2 декабря 2016 года

Томск 2016

Астроминералогия – новая комплексная наука для решения сырьевых и экологических проблем биосферы

А.В. Мананков

*Томский архитектурно-строительный университет, Национальный исследовательский
Томский государственный университет, e-mail: mav.39@mail.ru*

За последние десятилетия в связи с развитием ракетно-космической техники и планетологии человек узнал о строении геосфер Земли и о солнечной системе в целом гораздо больше, чем за всю свою историю. Одним из основателей науки сравнительной планетологии является Кирилл Павлович Флоренский, ученик В.И. Вернадского и организатор первой Тунгусской метеоритной экспедиции. Сведения о планете Земля перестали быть единственным источником для решения проблем происхождения и динамики развития солнечной системы. Более того, научные успехи космической эры позволили осознать, что Земля – это «хрупкий хрустальный шар», а ее биосфере грозит ряд глобальных вызовов, обусловленных ускоряющимся ростом экологических катастроф за счет природных, антропогенных и техногенных факторов.

Человек знаком с метеоритным веществом с незапамятных времен. Почти 200 лет назад химик Петербургской академии наук И. Мухин утверждал: «Начало преданий о ниспадающих из воздуха камнях и железных глыбах теряется в глубочайшем мраке веков протекших». Археологи находили орудия даже первобытных людей, сделанные из метеоритного железа. На современном витке истории возможность аналитического и минералого-петрографического изучения образцов вещества с поверхности Луны, начавшегося в 1969 г., без сомнения следует отнести к числу важнейших достижений научно-технического прогресса. Пришло время активного развития космогонических идей акад. В.И. Вернадского, К.Э. Циолковского и др. С этой целью на стыке самой древней минералогии – технологической минералогии, генетической минералогии и молодой космической минералогии рождается современная научная основа комплексного минералогического направления – **астроминералогии**.

Эта новая наука востребована для развития новых представлений о глубинной геологии Земли и других планет, образовании нашей Галактики, а также для преодоления стратегических рисков в процессе научно-технологической и хозяйственной деятельности человека за пределами биосферы. После обнаружения в Антарктиде в 1982 г. лунного метеорита, можно, видимо, надеяться на нахождение на поверхности Луны «земных метеоритов», в том числе и объектов с возрастом более 3,9 миллиардов лет, которые разрушены на Земле под действием факторов выветривания и различных других геологических процессов, но могут сохраниться на Луне.

Астроминералогия предоставляет возможность научного прогнозирования сырьевых ресурсов, необ-

ходимых человеку, в космических объектах разного масштаба. Наконец, она уже востребована при обеспечении безопасности космических полетов, проектировании научных и производственных комплексов на Луне, планетах Земной группы, а также безопасности столкновения Земли с космическими объектами.

Осваивая Луну, можно наиболее эффективно и оперативно реагировать на космические опасности и бороться с метеорами, болидами, и кометами. Идея создания научной базы на Луне, становится все более актуальной. Космические станции и аппараты до сих пор «смотрят» вниз, на Землю. Они призваны обеспечивать спутниковую связь и следить за ракетами противника. Астероиды и метеоры летят «в затылок» спутников. Челябинский болид-метеорит, например, 15 февраля 2013 г. взорвался на высоте 23,3 км, его взрывная волна накрыла город, лишив оконных стекол более 7 тыс. зданий, из которых более 6 тыс. – жилые дома. Второй эффект катастрофы связан с тем, что в верхних слоях атмосферы Земли образовалось гигантское газопылевое кольцо, которое опоясало все северное полушарие планеты на целых три месяца. Мощность взрыва болида составила 500 килотонн, что в 30 раз превышает бомбу Хиросимы.

Все это доказывает, что решение проблем глубинной геологии Земли и планет солнечной системы, полезных ископаемых и жизнеобеспечения, включая вопросы радиации, на Луне и ближайших планетах, невозможно без развития астроминералогии.

Астроминералогия самородных элементов (SE) в приземной и космической пыли

В околоземной атмосфере, и во Вселенной самородные элементы – неотъемлемый компонент и земной и космической пыли в составе коллоидной плазмы. Нами совместно с В.Н. Сальниковым выявлены импульсные электрические, электромагнитные и акустические излучения при фазовых переходах в горных породах, диэлектрических минералах, стеклах, кристаллах и материалах при тепловом, радиационном и некоторых других возбуждениях с участием ионизированных газов (Мананков, Сальников, 1978, 1996, 2006; Сальников, Мананков, 1994). В итоге, установлены важные закономерности динамики электромагнитных полей и геоактивных зон атмосферно-литосферного происхождения, самоорганизации электромагнитных систем в природе (Заверткин и др., 2010).

Атмосферная пыль представляет зависшие в воздухе твердые частицы диаметром более 1 мкм. Аэрозоли – коллоидные системы, дисперсионной средой в которых, как правило, служит воздух. Диаметр дис-

персных фаз находится в пределах 0,1-0,001 мкм. В отличие от атмосферной пыли аэрозоли содержат не только твердые, но и жидкие частицы, образующиеся при конденсации водяных паров или при взаимодействии газов. Жидкие капли могут содержать и растворенные в них вещества. Обычно к аэрозолям относят и капли диаметром 0,1-1 мкм, тогда как твердые частицы того же диаметра часто характеризуют как мелкая пыль. Именно водяной пар является основным фактором поглощения солнечной радиации и происхождения купола тепла под ним около поверхности Земли (Кондратьев, Матвеев, 1999).

Атмосферная пыль и аэрозоли могут иметь как естественное так и антропогенное (техногенное) происхождение (урбозоны, промышленные и бытовые выбросы). В результате естественных катастрофических процессов частицы пыли и аэрозолей в составе плазменных потоков в виде пылевой или коллоидной плазмы (ионизированного газа) возникают при импактных процессах. Над эпицентром крупного землетрясения они могут подниматься на высоту до 20 км, пыль и зола – при вулканической деятельности, твердые частицы дыма – при лесных пожарах, а такие твердые соединения как нитраты и сульфаты образуются в результате газовых реакций. Частицы темного цвета, например, сажи, активно поглощают видимый свет и инфракрасное излучение, что приводит к охлаждению (в той или иной степени) земной поверхности.

Аэрозоли коллоидной плазмы в тропосфере и стратосфере состоят из частиц диаметром 1 мкм и меньше. Эти частицы заметно влияют на биосферу: в первую очередь приводят к рассеянию в видимой области спектра, инфракрасное излучение они поглощают незначительно. В настоящее время в атмосфере плотность **аэрозолей** такова, что температура земной поверхности снижена примерно на 1,5 °С.

Пылевая и коллоидная плазма функционирует в оболочках атмосферы в виде разнообразных плазменно-пылевых систем: это «грязные грозы» в шлейфе над вулканическим извержением, аномальные аэрозольные и температурные поля при импактных явлениях, над гипоцентром землетрясения, пылегазовые облака, северное сияние, серебристые облака, вистлеры (свистовые волны), молнии Кататумбо, облака ледяных частиц нано – и микромасштабных размеров в ионосферной плазме и спрайты. В их составе постоянно присутствуют и имеют повсеместное распространение ультрамикроразмерные пылевидные SE (Грачев и др., 2008), которые по происхождению делятся на две генетические группы: 1) земные, 2) космические. В мишенях кольцевых структур астроблем с помощью микрозонда установлен целый ряд SE первой группы, отсутствующих в земных горных породах и требующих сугубо восстановительной среды: W, Bi, Al, Zn, Cr. Ко второй группе (по результатам термоманитных и микрозондовых исследований) относится преимущественно чистое самородное железо и никелистое железо (камасит с содержанием Ni 5-6%), обладающее в ядре Земли; неправильной формы зерна

шрейберзита (FeNi)₃P, не обнаруженного в породах литосферы; микросферы углерода, магнетита, интерметаллиды FeCoNiAl, FeNi, CrNiAl, FeCrNiCu, а также FeCr, FeCrNi, алюминиды Fe, Cu и др.

В метеоритах, т.е. заведомо космических объектах, по составу преобладают наночастицы Fe-Ni сплавов – камасита, тэнита, содержащего от 20 до 40% никеля. Редко присутствует аварунит (более 60% Ni). Колебания состава сплавов четко проявляются в кристаллических решетках и вариациях их точек Кюри. Среди других SE здесь отмечаются чистый Ni и Co, сплавы Fe с Cr, самородный Cr, сплавы Fe-Cu-Sn. Есть находки интерметаллидов CuZnCr, FeCr (Мананков, 1987; Отмахов и др., 2006). Отличительная структурная особенность этих SE – наличие пластинчатой и чешуйчатой морфологии частиц. В Челябинском метеорите 2013 г., который по составу минералов относится к типичному хондриту или осколку ледяной кометы, присутствуют сульфиды Fe и Ni, а также частицы Fe-Ni сплавов – камасит и тэнит. Для понимания механизма образования неразделенных пластинчатых «вермикулитообразных» агрегатов был важен факт обнаружения в них избытка углерода. С позиции экспериментальной минералогии чешуйчатость – это вполне вероятный результат медленного охлаждения раствора углерода в сидерофильных металлах или их сплавах в процессе формирования звезд.

Важным источником пылевой плазмы в ионосфере на высотах 80 – 120 км служат метеорные потоки. На поверхности пылевых частиц выявлены различные процессы, среди которых наиболее изучены явления рекомбинации электронов и ионов. В результате во время интенсивных метеорных потоков возбуждение пылевых звуковых возмущений может приводить к генерации инфразвуковых низкочастотных (ниже 25 Гц) колебаний и формированию пылевых звуковых солитонов (Копнин, 2008), подобных гидродинамической «уединенной» волне Рассела. Ионозвуковые и магнитозвуковые солитоны в плазме, как нелинейной среде, ведут себя подобно частицам (частицеподобные волны). При взаимодействии друг с другом или с некоторыми другими возмущениями они не разрушаются, а двигаются, сохраняя свою структуру неизменной. Это свойство может использоваться при диагностике параметров пылевых частиц в плазме запыленной ионосферы, а также для передачи данных на большие расстояния. Помимо чисто механических процессов в инфразвуковых интерференционных решетках, эти явления сопровождаются значительными электромагнитными событиями, т.к. движущиеся в магнитном поле среды обладают большой совокупностью гидродинамических мод колебаний и генерацией электретонов.

Межгеосферные явления и электреты в «подземной грозе»

Возрастание степени ионизации атмосферы, например, под действием землетрясения, вулканизма, восходящего Солнца сопровождается понижением напряженности магнитного поля у поверхности Земли за счет индукционных эффектов. Импульсное (при

Фурье суммировании) изменение магнитосферы Земли теоретически может достигать значительных масштабов, что также должно сопровождаться масштабными температурными эффектами. Так, в районах проявления полярных сияний в Канаде отмечены высокие температуры термосферы. Этот эффект зафиксирован и с помощью космоснимков учеными НАСА. Новое открытие в межгеосферных явлениях – сильный нагрев атмосферы в дни перед сильным землетрясением впервые зафиксирован в 2011 г. в Японии. В районе землетрясения, в нижней атмосфере наблюдались аномальные аэрозольные поля, в результате чего происходил нагрев атмосферы и резкое изменение ее параметров (hainanWel.com/forum.ru). Эти аномальные явления можно объяснять двояко. Во-первых, ювенильные частицы пыли, захваченные восходящим потоком при столкновении с молекулами газа, отдают часть своей энергии в атмосферу. Во-вторых, можно рассмотреть магнитную восприимчивость кислорода, которая в десятки раз выше, чем азота, водорода, диоксида углерода и других газов. С повышением температуры приземной атмосферы магнитная восприимчивость кислорода, как парамагнитного газа, уменьшается. В результате холодный O_2 , обладающий большой магнитной восприимчивостью, втягивается в энергоактивную зону, вытесняя из него нагретый ионизированный кислород, другие газы, аэрозоли и пыль. По ориентировочным подсчетам этот эффект вовсе не мал, особенно в совокупности с эффектом выноса из активных зон Земли огромных масс пыли, оксидов углерода, азота и серы, т.е. основных природных поллютантов атмосферы Земли. Эти эффекты, «привязанные» к геологической истории осадочных фаций, позволят более детально воссоздать временные циклы парникового эффекта, а также многолетних похолоданий и глобальных катастроф с вымиранием руководящих форм жизни.

Регистрируемые поллютанты являются диэлектриками, способными к поляризации. Вещества в состоянии поляризации, созданной тем или иным способом на длительное время, что позволяет использовать такие диэлектрики как источники электрического поля, называются электретами (Орешкин, 1977). История изучения электретов очень длинная и весьма поучительная. Теоретические предсказания электретов в природе сделал английский физик О. Хэвисайд в 1896 г., а их экспериментальное открытие осуществил японский физик М. Егучи в 1920 г., он также обосновал их актуальность для новой техники.

По структурной классификации эти вещества относятся к разным молекулярным группам диэлектриков: 1 группа – N_2 , H_2 , O_2 , CO_2 , CH_4 ,...; вторая группа – CO , SO_2 , H_2O , NH_3 ; третья группа – неорганическая пыль. Соответственно каждая группа диэлектриков отличается по виду поляризации. Мерой полярности служит физическая величина, называемая электрическим моментом. Он является важным параметром электретов и отвечает за геометрическую структуру молекул. Так, молекула CO_2 неполярная, а молекула SO_2 обладает

электрическим моментом диполя. Это значит, что молекула CO_2 имеет линейную структуру, а электреты из молекулы SO_2 обладают угловым строением.

Исследуемый ряд веществ очень давно изучается, и не случайно. Начинаясь это с открытия взрывчатых веществ и дымного (черного) пороха. Последний состоит из тонкой смеси трех веществ: угля, серы и нитрата калия (соли азотной кислоты). Под действием искры в замкнутом объеме смесь взрывается, и это есть модель «подземной грозы». Еще в 1885 г. француз Жорж Дари впервые сформулировал идею «подземной грозы», а как научная гипотеза оформлена учеными Томска под руководством А.А. Воробьева (Воробьев, 1970). Азотная кислота в природе образуется в результате реакции диоксида азота с каплями воды, в том числе и выжимаемыми из уплотняющихся пород, что изучено экспериментально.

В геодинамически активных зонах под действием катастрофических факторов (вулканизм, землетрясения) происходит высвобождение огромных масс вещества и сейсмической энергии. Процесс сопровождается диспергацией минералов и горных пород до нано-и субмикрозернистых взвесей, которые способны к электризации и переходу в электреты различных генетических типов (механоэлектреты, термоэлектреты, электроэлектреты, фотоэлектреты, радиоэлектреты, трибоэлектреты и плазмоэлектреты).

Результаты многолетнего атмогеохимического мониторинга на территории Республика Тыва в зоне сочленения Сибирской и Индийской тектонических плит позволили нам разработать способ прогнозирования землетрясений в пределах коллизионных зон континентов (Патент на изобретение № 2516617).

Астроминералогия и сейсмотомография для глубинной геологии

Из теоретической и геодинамической сферы основные электреты уже ускоренно переходят в новую технику. Так, CO_2 –лазеры являются одними из самых мощных лазеров. Сера в качестве фотоэлектрета широко используется в электрофотографии и сейсмотомографии земной коры и внутренних геосфер. Появление, сейсмотомографии определило переход геофизики и геодинамики на новый уровень. В середине 80-х годов родилась глубинная геодинамика, ставшая самым молодым и перспективным направлением в геоэкологии и в целом в науках о Земле. Сейсмотомографические модели земных недр с учетом новых экспериментальных данных астроминералогии для глубин 100 и 310 км (Montagner, 2000) позволили уточнить глубинную петрологию планеты. Вверху, на глубине 100 км верхняя мантия разогрета под границами плит и в особенности под срединно-океаническими хребтами (здесь низкие сейсмические скорости). Дистанционные спутниковые измерения с помощью системы GPS (Global Positioning System) подтвердили перемещения литосферных плит.

Новые результаты астроминералогии при высоких давлениях и температурах, характерных для мантии и ядер планет: полиморфизм железа (*рис.1*), трансфор-

мация главной фазы мантии – шпинели $MgAl_2O_4$ в зоне верхней мантии Земли в интервале 670–840 км в феррит кальция

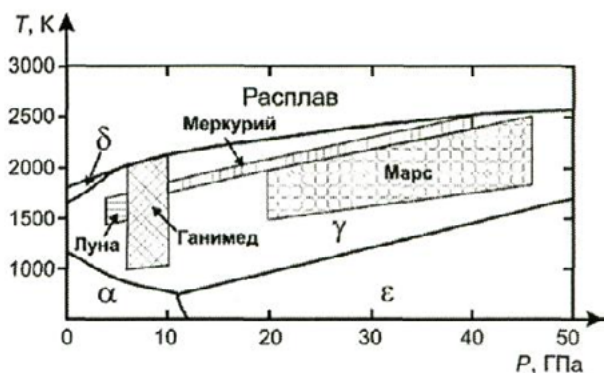


Рис. 1. Интервалы давления и температуры в ядрах Марса, Меркурия, Луны, Ганимеда (спутника Юпитера) на фазовой диаграмме с полями устойчивости α-, β-, γ- и ε-модификациями Fe, по (Antonangeli et al., 2015)

$CaFe_2O_4$ (Irifune et al., 1991); переход тетрагонального полиморфа стишовита на глубине -1700 км в ромбический пост-стишовит ромбической структуры типа $CaCl_2$ (Kingma et al., 1995; Oganov et al., 2005); построение фазовых диаграмм с давлением до 50-100 ГПа (астрофизические льды) и т.п. позволили разрушить существовавшую более полстолетия (до середины 1990-х гг.) парадигму о двучленном делении внутренних геосфер Земли. Началась разработка модели с дробным делением мантии и ядер для Земли, Луны, «газовых» гигантов – Юпитера, Сатурна и ледяных гигантов – Урана и Нептуна (Antonangeli et al., 2015; Vove et al., 2015; Пушаровский, Пушаровский, 2016 и др.).

Астроминералогия и катастрофы в биосфере

Территории находок астроблем и метеоритов, как и тектитов, не имеют повсеместного распространения, их аномалии можно пока считать локальными. В районах палеогеологических стихий глобального масштаба присутствуют специфические породы класса катастрофитов. Они залегают всегда с угловым несогласием на породах основания, и несут четкие признаки похолодания и даже оледенения. К ним относятся темпеститы, турбидиты, инундиты, тайдалиты, сейсмиты и др. необычного минерального состава и экзотических текстур. Породы, перекрывающие катастрофиты, часто представлены «черными сланцами», которые пересыщены органикой со следами устойчивого похолодания и имеют свое геохимическое лицо. Они отличаются повышенными концентрациями урана, иридия и благородных SE, включая самородное золото, обычно золото-мышьяковисто-сульфидной формации (например, крупные месторождения Бодайбинского рудного района, Урала, Казахстана и т.п.).

Геологические катастрофы более низкого порядка связывают с резкими аномалиями, скачками изотопа ^{14}C . Этот эффект объясняют по-разному. Или это результат взрывов сверхновых звезд, когда заряжен-

ные частицы плазмы воздействуют на молекулы атмосферных газов; или они – продукт массивных вулканических выбросов глубинных ионизированных газов. Из теоретических соображений нами выделяется третий механизм аномальных скачков изотопа ^{14}C – мощные землетрясения в зонах влияния глубинных разломов во время разгрузки динамомеханических напряжений и интенсивных релаксационных процессов, генерирующих электрофизические и сейсмические эффекты (Мананков, 2012; 2013).

Таким образом, отличия земных объектов и космических включают следующие критерии: 1) геолого-структурные особенности (породы класса катастрофитов в земной коре); 2) петрохимический состав; 3) элементы-примеси; 4) количество, состав, морфология и структуры SE; 5) изотопный состав углерода ^{14}C ; 6) состав химических элементов группы TR, радионуклидов; 7) отношение Th/U; 8) разная мощность протонного облучения в составе солнечного ветра в условиях высокого вакуума в космосе (экзотические микросмеси самородного W и низкоплавкой Sb и т.п. в реголите) и атмосферы Земли.

Астроминералогия и проблемы образования Луны

На лунной орбите трудится автоматические станции Smart 1 и другие аппараты, у которых много задач: прикладных и теоретических. Они исследуют кратеры, включая самые большие, где изучают содержание SE и планируют найти лед и те же горные породы, что есть на Земле. Теоретические аспекты преследуют развитие планетологии и теории образования Луны. Для ученых Луна по-прежнему загадочна. Что такое Луна, откуда она появилась, как сформировалась? Возникла ли самостоятельно из того же первозданного облака плазменной пыли, что и Земля? Или это отколовшийся когда-то кусочек Земли? Или Луна – прилетевшая вообще из другой галактики космическая странница, загостившаяся около Земли? Прорабатываются группы гипотез. Для некоторых из них необходимо найти доказательства образования нашего спутника в результате космического киднеппинга или столкновения Земли с космическим телом размером с Марс.

Геохимия SE в данной проблеме во многом сконцентрирована на *самородной платине и металлах платиновой группы*. Из металлогении известно, что в наиболее древних земных породах платины и платиноидов очень много, а на Луне в породах близкого возраста, такие SE пока не обнаружены. Если их там не найдется, то можно развивать вторую гипотезу о том, что Луна – не родственница Земли, а самостоятельный космический объект, оказавшийся в плену у Земли. Тем не менее, уже сейчас на поверхности Луны обнаружены области с внушительными залежами *титана*. Титан здесь, как и на Земле, присутствует в составе ильменита, сложного оксида, содержащего также железо. Парадокс в том, что максимальное содержание титана в лунной породе в сотни раз превосходит его в аналогичных породах Земли. Но он снимается, если учесть явление спинодального распада при быстрой

закалке в восстановительной среде кристаллов магнетита (Мананков, Шарапов, 1983, 1985) и формирование промежуточных членов ряда твердых растворов магнетит Fe_3O_4 – ульвошпинель Fe_2TiO_4 , а также масштабы некогерентного распада твердых растворов магнетит – ильменит, установленные в реголите Луны (Хисина, 1987). В любом случае, это открытие «работает» на гипотезу космического киднеппинга, хотя подчеркивает загадочные петрогеохимические особенности Луны при – и после ее формирования как спутника Земли. В Томском районе имеется два крупных месторождения ильменитовых руд, ожидающих освоения уже 50 лет. Вместе с тем, если человек начнет промышленную эксплуатацию ресурсов Луны, то ильменит станет бесценным источником обоих этих металлов. Кроме того, надо учитывать, что богатые титаном минералы способны улавливать входящие в состав солнечного ветра частицы водорода и гелия, которые также являются жизненно необходимыми для поддержания и развития значимых проектов практического освоения космоса.

При изучении SE Луны выявлены и другие необычные для геохимии явления. Лунный реголит, доставленный автоматическими станциями серии Луна и Apollo, содержит частицы самородного молибдена, каплевидные микрочастицы самородного железа, сульфида серебра и твердого раствора железа и олова. Сульфид серебра в виде включений в зернах полевого шпата может быть продуктом физико-химических процессов в магматическом расплаве на ранней стадии развития Луны. Самородный молибден в породах Земли пока вообще не известен, также как и сплав железа и олова. Формирование самородных металлов на Луне, которых нет на Земле, достаточно надежно можно объяснить на современном уровне с позиции голографической модели вещества, а именно процессами протонного облучения в составе солнечного ветра в условиях высокого вакуума и непрерывной метеоритной бомбардировки (Локтюшин, Мананков, 1996). В этой модели водород является необходимым посредником во всех процессах минерогенеза из условия совпадения собственных частот взаимодействующих элементов, поскольку частоты колебаний протона в атоме соответствуют среднему положению между полосами электронных и ядерных частот.

Проблемы материаловедения на основе пород Луны

Исследование минералогии пород Луны невозможно переоценить с позиции теоретической планетологии. В прикладном аспекте они нужны, в первую очередь, в качестве выявления возможностей проектирования на их основе строительных и конструктивных материалов с заданными свойствами для строительства жилья и технических сооружений. Согласно имеющимся минералогическим и геохимическим и петрографическим данным на Луне большая часть горных пород сопоставима или близка земным базальтам. Необычной геохимической особенностью лунных базальтов является высокое содержание в них титана (до 11,74мас %), который в виде ильменита вместе

с пироксенами, плагиоклазом и оливином относится к главным минералам (Мейсон, Мелсон, 1973 и др.). Эту и другие минералогическо-петрохимические особенности лунных базальтов необходимо учитывать при проектировании составов строительных и конструктивных материалов типа нового класса стеклокристаллических материалов класса «Сикам», товарный знак № 92355, разработанного нами по результатам фундаментальных и экспериментальных исследований (Мананков, 1995, 2013, 2014; Мананков, Горюхин, Локтюшин, 2002; Мананков, Рахманова, 2013; Мананков, Сальников 1995, 1996, 2006; Мананков, Страхов, Шубина, 2014; Мананков, Страхов, 2016). При моделировании петроситаллов на основе лунных базальтов с помощью фазовых диаграмм равновесия просматриваются определенные преимущества и по составу и по энергетике производства.

Астроминералогия и ресурсы SE и TR на Земле и в космических объектах

Уже в этом столетии по самым оптимистическим прогнозам на Земле начнут зримо истощаться запасы и становиться дефицитными благородные и редкие металлы (Au, Pt, Ce, La, In, Gf, Tb, и др.), широко используемые в новой технике. Земные технологии пока не могут заменить или исключить эти SE и редкоземельные (TR) металлы. Поэтому космические зонды ряда стран, например, GRAIL USA уже несколько лет по настоящему ищут месторождения редкоземельных металлов, а также воду на Луне.

В докладе представлены результаты сравнительного изучения минералогии, геохимии и биогеохимии каолининовой коры юга Западной Сибири, тектитов из Южно-Азиатского поля (коллекция В.И. Изоха) и обсидианов Камчатки. Фазовый состав коры выветривания исследован оптическими методами и с помощью дифференциально-термического метода (ДТА). Химический состав тектитов и обсидианов изучены на спектрографе ДФС-452 с многоканальным анализатором и программой «АТОМ». Элементы редких земель в метасоматических колонках и минералах каолининовых кор и тектитов определены нейтронно-активационным методом. Кристаллофизические свойства объектов изучены методами электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), инфракрасной спектроскопии (ИКС) и др.

Формирование месторождений SE и TR в земной коре очень разнообразное. Они генетически связаны с целым рядом эндогенных процессов (магматических, гидротермальных и т.п.) и гипергенезом. Многие SE встречаются в россыпях и в виде самородков, очень редко необычайно крупных, весом до нескольких десятков тонн. Но при этом на долю SE, включая газы атмосферы, приходится не более 0,1% веса земной коры. Вместе с тем в депонирующих осадочных породах Земли распространены SE в небольших концентрациях ($\leq 0,001\%$), у которых отсутствует корреляция с вмещающими породами и заведомо земными магнитными минералами. Примерно 30 лет назад ученые пришли к выводу, что коры выветривания играют необычайно большую роль в формировании литосферы

образовании месторождений полезных ископаемых. Этим проблемам посвящены работы выдающихся российских и зарубежных ученых (В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, И. И. Гинзбург, А. П. Виноградов, Д. В. Наливкин, Н. М. Страхов, А. В. Сидоренко, В. П., J. Verhoogen, F. J. Turner, L. E. Weiss, W. S. Fyfe, A. D. Howard, I. Remson, Ch. Drake, J. Imbrie, J. Knauss, K. Turekian и др.). Процессы выветривания на Земле в условиях избытка кислорода и влаги включают в себя физическую (механическую) дезинтеграцию горных пород, которая сопровождается химическими и микробиологическими (с участием хемолитотрофов и гетеротрофов) преобразованиями материнского вещества в устойчивые в такой среде минералы. Однако остаются дискуссионными вопросы, связанные с их участием в региональном литогенезе, а также особенностями геохимии и металлогении метасоматических колонок самих кор выветривания и перспективой их минеральных ресурсов.

В каолиновой коре выветривания, обычно имеющей зональное строение, содержание многих подвижных микроэлементов уменьшается по сравнению с материнскими породами (Ba, Ni, Co, Cu, Cs, Rb, Sc, U, Th). Концентрация других, преимущественно геохимически устойчивых и малоподвижных относительно возрастает (Si, Al, Ti, Fe, Zr, Au, Ga). При благоприятных условиях они формируют полезные залежи и месторождения: железных руд, циркона, ильменита, SE, TR, кварца и каолинита. Отношение Th/U = 3-4, т.е. аномально низкое по сравнению с лунным реголитом. Содержание основных редкоземельных элементов, которые обладают химическим сродством с литофильным алюминием, а также гафния, урана и тория в профиле изучаемой каолиновой коры находится на уровне известных промышленных залежей, располагаясь между Тарским, Георгиевским и Туганским месторождениями (рис.2). В центральной зоне (и в меньшем количестве в других зонах профиля коры выветривания) монацит отсутствует, но выявлены два новых собственно редкоземельных минерала: гидроксилбастнезит $Ce[CO_3](OH,F)$ и оксифторид церия и лантана $CeLa_2O_3F_3$.

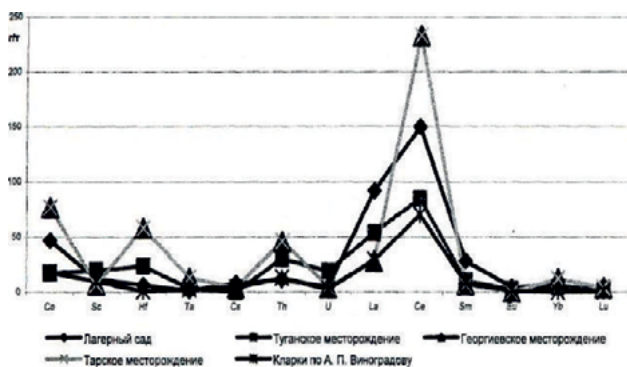


Рис. 2. Редкоземельные элементы в глинистой фракции профиля региональной коры выветривания и промышленных месторождениях ильменит-цирконовых руд

В качестве космических объектов изучены тектиты. Тектиты – достаточно простые по минеральному составу, но по химическим и физическим свойствам они во многом уникальны и не находят аналогов ни на Земле, ни среди космических объектов. С физико-химической точки зрения тектиты – это твердые растворы оксидов различных металлов в кремниевом кислоте. По химическому составу они сходны с кислыми вулканитами и так называемыми метеоритными импактитами – стеклянными образованиями, возникающими при ударе о Землю и взрыве крупных метеоритов (Изох, 1983). Петрохимический состав тектитов Южно-Азиатского поля по нашим и литературным данным отличается от окружающих пород и от земных обсидианов меньшим содержанием Na_2O , Fe_2O_3 , но повышенной концентрацией K_2O , CaO , MgO , FeO , TiO_2 (Изох, 1985, 1986; Отмахов и др., 2006), что обусловлено, вероятно, влиянием восстановительной среды и необычно высоких ликвидусных температур расплавов. Тектиты обладают повышенным содержанием целого ряда элементов-примесей: Ni, Co, Cr, Zr. В них повышено содержание крайних легких TR: Ce в 2 раза, La – в 1,5 раза, Sm – в 1,5-2 раза, а Sc – в 4 раза по сравнению с обсидианом (табл. 1). Тектиты, к тому же, отличаются аномально высоким отношением Th/U = 10-12, т.е. примерно в 2 раза больше, чем в природных стеклах. Эти наши результаты хорошо согласуются с известными литературными данными (Adams, 1956; Baker, 1959; Mason, 1959 и др.).

По результатам инфракрасной спектроскопии тектиты, в отличие от большинства импактитов, обладают упорядоченной структурой, близкой к структуре плавленого кварца. С помощью метода ЭПР (электронного парамагнитного резонанса) установлено отсутствие каких-либо резонансных линий с эффективными g-факторами. Парамагнитные центры отсутствуют, вполне вероятно, из-за недостатка кислорода для осуществления перехода $Fe^{2+} \leftrightarrow Fe^{3+}$, что отражает специфику физико-химических условий минерогенеза, а именно, сильно перегретый расплав и скоротечная кинетика переохлаждения его капель и брызг.

Генезис тектитов до сих пор остается дискуссионным. Возможность формирования тектитов в результате переплавления земного материала была впервые изложена Л. Спенсером в 1933 г. Она поддерживалась рядом ученых (Кринов, 1955 и др.). В 60-х годах XX в. А. Довилье впервые выдвинул гипотезу о том, что тектиты могут быть непосредственными компонентами кометных ядер или метеоритами особого состава (Dauviller, 1964). Позднее появилась более экзотическая гипотеза о возникновении тектитов при помощи нейтронного вещества. Суть ее в том, что «тигель» в котором плавилось это стекло, был образован при движении в толще Земли некоего сверхплотного объекта, предположительно из нейтронного вещества. Имеет место гипотеза, представляющая тектиты продуктами вулканических извержений на Луне (Савченко, 1975 и др.). С учетом абсолютного возраста вещества тектитов, их морфоструктурных особенностей и поясного

распространения вокруг планеты активно разрабатывается гипотеза катастрофического происхождения тектитов в результате ударного метаморфизма, в которой тектиты – брызги перегретого расплава от удара крупных метеоритов о Землю (Зигель, 1982 и др.).

Полученный нами материал показал одинаковый порядок содержания наименее распространенных – редких и редкоземельных элементов в тектитах и в гипергенных метасоматитах каолининовой коры выветривания.

Таблица 1

Содержание TR и радионуклидов в тектитах и обсидианах, масс. %

№	Ce	La	Eu	Yb	Tb	Sm	Lu	Sc	U	Th
1	$6,2 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-4}$
2	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-4}$
3	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$11,2 \cdot 10^{-4}$

Примечание. № 1– тектит-индошинит (Вьетнам), № 2–тектит-иргизит (Казахстан), № 3– обсидиан (Камчатка).

Заключение

С позиции требований времени в рамках сравнительной планетологии весьма своевременным оказалось зарождение астроминералогии- интегративной комплексной науки.

На основе достижений астроминералогии получены новые методы сейсмомографии.

Создается новая геологическая история Земли и всех планет солнечной системы. По нашему убеждению, приоритетной должна быть модель самоорганизации и происхождения планет из облака пылевой плазмы с участием электретов.

Выявлены геохимические признаки участия земного вещества в генезисе тектитов.

Обоснованы вещественные отличия земных объектов от космических.

Находят объяснение особенности структурно-фазовых превращений самородных металлов и лантаноидов под воздействием внешних физико-химических факторов на Луне и Земле.

По результатам изучения состава и свойств SE в космической пыли, метеоритах, астроблемах и Луне появляются новые аргументы для освоения ресурсов Луны, разработки способов прогнозирования землетрясений, астроблем, создания автоматизированной системы предупреждения опасных ситуаций, касающейся метеоритов и астероидов, приближающихся к Земле, а также факты для понимания и объяснения назревших загадок космологии.

Данные результаты представляют интерес с точки зрения оценки притока космогенных SE на поверхность Земли в качестве фоновой компоненты, а также при высокоэнергетических процессах, сопровождающих взрывы астроблем и метеоритов различных генетических типов и минералого-геохимического состава.

Литература

1. Воробьев А.А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли // Геология и геофизика. 1970. № 12. С. 3-13.
2. Грачев А.Ф., Корчагин О.А., Цельмович В.А. Коллманн Х.А. Космическая пыль и микрометеориты

в переходном слое глин на границе мела и палеогена в разрезе Гамс (Восточные Альпы): морфология и химический состав // Физика Земли. 2008. № 7. С. 42-57.

3. Заверткин С.Д., Сальников В.Н., Арефьев К.П. Электромагнитная эмиссия при фазовых переходах в минералах и диэлектрических материалах. Томск: ТПУ, 2010. 397 с.
4. Зигель Ф.Ю. Вещество Вселенной. – М.: Химия, 1982. 176 с.
5. Изох Э.П., Ле Дык Ан. Тектиты Вьетнама. Гипотеза кометной транспортировки.–Метеоритика, 1983, вып.42. – С.158-169.
6. Изох Э.П. Парадокс возраста тектитов и полей их выпадения // Метеоритика, 1985, вып.44. –С.127-134.
7. Изох Э.П. Петрохимия пород мишени, импактитов и тектитов астроблемы Жаманшин // Космическое вещество и Земля. – Новосибирск: Наука СО, 1986. С. 159-203.
8. Кондратьев К.Я., Матвеев Л.Т. Основные факторы формирования острова тепла в большом городе. – Докл. РАН, 1999, том 367, № 2, с. 253-256.
9. Копнин С.И. Пылевые звуковые возмущения в запыленной плазме и их проявления: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. Долгопрудный: 2008. 20 с.
10. Локтюшин А.А., Мананков А.В. Пространственно-замкнутые динамические структуры. Томск: ТГУ, 1996. 123 с.
11. Мананков А.В., Шарапов В.Н. Механизм и кинетика обособления магнетита в базитовых расплавах.– Докл. АН СССР, 1983, т.272, № 3. С. 670-675.
12. Мананков А.В., Шарапов В.Н. Кинетика фазовых переходов в базитовых расплавах и магмах. – Новосибирск: Наука, 1985. 175 с.
13. Мананков А.В. Стадийность фазовых превращений в расплавах тектитов / II Междунар. конф. по природным стеклам. – Прага, 1987. С.50.
14. Мананков А.В. Синтетический волластонит // Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов: Тезисы докладов XIV научно-технич. конф. 17-18 октября 1995г. Обнинск, 1995. С. 89-90.

5. Мананков А.В. Геологическая среда и техносфера: квантовые процессы: самоорганизация. Томск: ТГАСУ, 2012. 448 с.
16. Мананков А.В. Итоги изучения быстропротекающих геологических процессов / Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от В.А. Обручева, М.А. Усова, Н.Н. Урванцева до наших дней. Матер. форума. Томск: ТПУ, 2013. С. 251-260.
17. Мананков А.В. Геохимия самородных металлов и интерметаллических соединений на Земле, в метеоритах и на Луне // Структура и свойства металлов при различных энергетических воздействиях и технологических обработках: Материалы научного семинара с международным участием, посвящ. 80-и летнему юбилею проф. Козлова Э.В. Томск: ТГАСУ. 2014. С. 79-86.
18. Мананков А.В., Горюхин Е.Я., Локтюшин А.А. Волластонитовые, пироксеновые и другие материалы из промышленных отходов и недефицитного природного сырья. Томск: Томский государственный университет, 2002. 168 с.+ 8 стр. цв. вкл.
19. Мананков А.В., Рахманова И.А. Концептуальная фаза жизненного цикла инновационного материала – синтетического волластонита // Вестник ТГУ № 368. 2013. С. 108-114.
20. Мананков А.В., Сальников В.Н. Исследования процессов ситаллизации в стеклах пироксенового состава методом электропроводности, ТСТ и радиоизлучения // Матер. Всес. симп. «Катализируемая кристаллизация стекол». М., 1978. С.31-33.
21. Мананков А.В., Сальников В.Н. Испытание пироксеновых ситаллизирующихся стекол при нагревании в вакууме и слабых электрических полях // Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов: Тезисы докладов XIV научно-технич. конф. 17-18 октября 1995г. Обнинск, 1995. С. 88-89.
22. Мананков А.В., Сальников В.Н. Электропроводность и электромагнитная эмиссия пироксеновых стекол и ситаллов при высоких температурах / Физика и химия стекла. 1996. Т. 22, № 4. С.528-535.
23. Мананков А.В., Сальников В.Н. Электрофизические методы исследования минералов и композиционных материалов // Современные методы минералого-геохимических исследований как основа выявления новых типов руд и технологий их комплексного освоения. СПб: Изд-во СПбГУ, 2006. С.196-198.
24. Мананков А.В., Страхов Б.С. Петрогеохимические исследования горного сырья Полярного Урала для производства петроситаллов // Вестник ТГАСУ, № 4 (57). 2016. С. 135-143.
25. Мананков А.В., Страхов Б.С., Шубина Ю.В. Материалы класса «СИКАМ» для строительства и ремонта автомобильных дорог // Вестник ТГАСУ, № 1. 2014. С. 101-108.
26. Мейсон Б., Мелсон У. Лунные породы. Перевод с англ.– М.: Мир, 1973. – 167 с.
27. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков. М.: ВШ, 1977. 448 с.
28. Отмахов В.И., Варламова Н.В., Мананков А.В., Лапова Т.В. Физико-химические исследования тектитов в интересах космического мониторинга // Известия Томского политех. ун-та, 2006. Том 309, № 5. С.40-44.
29. Патент на изобретение. № 2516617. Способ прогнозирования землетрясений в пределах коллизионных зон континентов // А.В. Мананков, И.Д. Кара-сал, Б.К. Кара-сал. –Зарегистр. в Госреестре 24 марта 2014 г. Опубл. 25.05.2014. Бюл. № 14.
30. Пушаровский Д.Ю., Пушаровский Ю.М. Новый взгляд на состава и строение глубинных оболочек планет земной группы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология, 2016. № 1. С. 3-9.
31. Савченко К.Н. Космогония Канта и проблема происхождения малых тел Солнечной системы). Л., Наука, 1975. 197 с..
32. Сальников В.Н., Мананков А.В. Определение температур превращений в технических и пироксеновых стеклах методом регистрации проводимости синхронно с импульсным электромагнитным излучением // Труды Украинского ин-та стекла. Константиновка, 1994. С.159-170.
33. Хисина Н.Р. Субсолидусные превращения твердых растворов породообразующих минералов. М.: Наука, 1987. 207 с.
34. Adams J.A.S. Uranium contents and alpha particle activities of tektites.- XX Intern. Geol. Congr., 1956. 207 p.
35. Antonangeli D., Morard G., Schmerr N.C. et.al. Toward a mineral physics reference model for the Moon's core // Proceed. Nation Acad. Sci. 2015. Vol. 112 (13). P. 3916-3919.
36. Baker G. Tektites. Mem. Nat. Museum Victoria, 1959, 23. 313 p.
37. Bove L.E., Gaal R., Raza Z. et al. Effect of salt on the H-bond symmetrization in ice // Hroceed. Nation Acad. Sci. 2015. Vol.112 (27). P. 8216-8220.
38. Dauviller A. Sur l'origine cosmique des tektites // Comt. rend. Acad. sci. Paris, 1964, V. 258, N 19.
39. hainanWel.com/forum.ru
40. Irifune T., Fujino K., Ohtani E. A new high pressure form of MgAl₂O₄ // Nature. 1991. Vol. 349. P. 409-411.
41. Kingma K.J., Cohen R.E., Hemley R.J., Mao H.-K. Transformation of stishovite to a denser phase at lower-mantle pressure // Nature. 1995. Vol. 374 (6519). P. 243-245.
42. Mason B. Chemical composition of tektites. – Nature, 1959, 183, p. 254-255.
43. Montagner J.P. Effect of a plume on long period surface waves computed with normal modes coupling // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 119. 2000, p. 57-74.
44. Oganov A.R., Gillan M.J., Price G.D. Structural stability of silica at high pressure and temperatures // Phys. Rev. 2005. Vol. 71 (6). P. 064104 (8).