

К ИСТОРИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

(Историческая геохимия)

Г. А. МАКСИМОВИЧ

Среди наук, изучающих нашу планету с различных точек зрения, можно назвать астрономию, географию, геологию, геофизику и наиболее молодую из них – геохимию. Благодаря работам В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана, В. М. Гольдшмидта, П. Ниггли и ряда других, геохимия начинает развиваться в самостоятельную науку. Особенно велика заслуга А. Е. Ферсмана, объединившего различные течения в одно стройное целое. Однако несомненно, что мы являемся свидетелями только начала юношеских лет этой молодой отрасли знаний. Она будет в дальнейшем всё развиваться и разделится на целый ряд наук. Благодаря работам В. И. Вернадского и его лаборатории родилась и успешно развивается новая ветвь – биогеохимия. На очереди стоит вопрос об исторической геохимии.

Современная геохимия, в том виде, как она даёт А. Е. Ферсманом, это учение о химической сущности процессов в мироздании, на нашей планете в частности и, главным образом, в земной коре. Встречаясь с различными стадиями развития планет, разными стадиями развития земной коры, геохимия в основном изучает химическую сторону происходивших и происходящих в земной коре процессов. Существующее направление можно коротко назвать динамической геохимией. Намечается и другое направление – историческая геохимия.

Современное распределение элементов на земном шаре является результатом сложного процесса развития нашей планеты. Для того, чтобы разобраться во всём многообразии современных ассоциаций элементов, обусловленных различными процессами, необходимо уделять должное внимание истории геохимических процессов или исторической геохимии. Только ясное представление (поскольку это возможно на данном уровне знаний) о геохимическом развитии нашей планеты и земной коры, поможет нам разобраться в современной геохимии Земли. Основные стадии химического развития нашей планеты, основанные на стадиях развития атома, блестяще наметил А. Е. Ферсман [7, 8, 9]. Конечно, не все стадии геохимической истории нашей планеты могут быть одинаково подробно освещены. Наибольшими сведениями мы обладаем по более близкому к нам времени. Нас не должна останавливать неполнота данных о первых этапах развития нашей планеты. Рост наших знаний будет всё уточнять картину развития геохимических процессов.

В геохимии, по характеру самой науки, основными этапами в истории геохимических процессов нашей планеты будут стадии развития атома. Рассматривая историю атома, А. Е. Ферсман выделил следующие стадии геохимической истории Земли: космическую, планетарную, магматическую, гипергенную, стадию жизни (биогеогенез и техногенез) и метаморфическую. Это основные периоды в истории Земли как космического тела, её охлаждения и дальнейших геохимических процессов.

Мы вводим понятие о поногенной стадии, а метаморфическую считаем предшествующей биогеогенной. В результате основными стадиями геохимического развития нашей планеты или, как их удобнее называть, геохимическими эрами будут: I – космическая, II – планетарная, III – магмогенная, IV – гипергенная, V – метаморфогенная, VI – биогеогенная, VII – поногенная. Последняя эра названа от греческого понос – труд. Этим оттеняется, что процессы, характерные для этой стадии, обусловлены трудом человека.

Какие же особенности каждой из эр? Космическая эра в истории атома характеризуется накоплением комплекса атомов различных типов, ионизированными атомами. Такое состояние атомов обусловлено нахождением их в обстановке лучистой энергии.

Планетарная эра является дальнейшей стадией развития атома. На каком-то участке мироздания возникает узел сгущения. Путь, по которому идёт этот процесс и создаётся своеобразный клубок атомов, рисуется по-разному. Он указан Кантом и Лапласом, Чемберленом и Джинсом и другими. Несомненно одно – в таком узле сгущения, как наша планета, при переходе из обстановки космических температур в более низкие, образуется известное нам число атомов, обладающих знакомыми нам химическими свойствами элементов. При этом атомы, образующие нашу планету, проходят через расплавленное состояние. Происходит ли это сразу для всего клубка атомов или постепенно, отдельными частями, сказать сейчас трудно. В состоянии расплава сближенные атомы подчиняются законам физической химии и электролитической диссоциации. Происходит перераспределение атомов, обусловленное этими законами, на металлическое ядро и наружные более лёгкие оболочки, с газами и летучими веществами на периферии. Это первичное распределение вещества, обусловленное электрохимическими и термохимическими процессами, приводит к новой стадии в развитии атома. Атомы образуют первые химические соединения – молекулы. Но, в обстановке высоких температур и давлений стадии планеты, это ещё сравнительно подвижные равновесные стёкла. Эти соединения, свидетели планетарной стадии нашей Земли, мы сейчас можем найти во внутренних оболочках. Однако они сейчас находятся уже несколько в иных условиях, благодаря наличию не существовавшей ранее твёрдой земной коры.

Магматическая, или магмогенная, эра начинается с момента затвердевания расплава на поверхности нашей планеты. Это новая стадия в развитии атома. На смену жидкого или, правильнее, стекловатого состояния, обусловленного наличием как свободных атомов, так и молекул, впервые появляется твёрдая гармоническая постройка из атомов в виде кристалла. Из этих кристаллов строится наружная оболочка нашей планеты – земная кора. Образуются породы, близкие по своему составу к современным базальтам. По мере развития нашей планеты эта кристаллическая оболочка увеличивается в своей мощности, за счёт перехода подкорового стекла в кристаллическое состояние. Свидетели состояния атома в планетарной стадии, изменённые в процессе развития

Земли, сейчас скрыты от наших взоров целым рядом оболочек, образовавшихся позднее.

Кристаллическая оболочка всё прочнее облакает заключённые в ней стекловатые массы. Мощностъ этой оболочки растёт. Кристаллизация сот проводится дегазацией наружных частей нашей планеты. Сквозь твёрдую, но ещё весьма тонкую оболочку прорываются стекловатые подкоровые массы и выделяют газы и летучие вещества. Когда земная поверхность уже имеет температуру ниже 100°, из окружающей газовой оболочки на земную кору, на поверхность твёрдой оболочки, выпадает первый горячий дождь. Образуется впервые в истории нашей планеты гидросфера. Наступает новая геохимическая эра – гипергенная.

Эра процессов земной поверхности, гипергенная эра, представляет новую стадию развития атома. Из кристаллических решёток земной коры, под влиянием внешних факторов, происходит образование коллоидов и их ячеек – мицелл.

Мицелла уже представляет совокупность атомов, молекул и кристаллических масс. Каковы же поверхностные факторы, которые обуславливают образование этих коллоидов из кристаллов? Несомненно здесь роль воды. Вода заняла углубления в земной поверхности, созданной в магмогенную эру. Повидимому, они были значительно меньше современных. Влияние недр земли, с её температурами, сказывается уже в меньшей степени, так как они отделены плохо теплопроводной симической оболочкой. Начинается круговорот воды на земной поверхности, под влиянием солнечной энергии. Происходит разрушение кристаллической земной коры водою и снос этого материала в водоёмы того времени. Это не пресные озера, а моря, где в растворе уже имеются натрий, калий, хлор, бор, иод и бром. Это, как и вода, продукты дегазации Земли как в планетарную, так и магмогенную эры.

Разрушение кристаллической земной коры, с образованием раздробленных пород, коллоидов и растворённых веществ, производится дождём, водными потоками и водою морей гипергенной эры. Гидросфера разрушает кристаллическую оболочку Земли и физически и химически. Известную роль в этом процессе играет и выветривание.

Нам неизвестен состав атмосферы гипергенной эры. Мы должны предполагать, что он был иным, поскольку современная тропосфера представляет результат дальнейшего, весьма длительного, развития нашей планеты. Однако можно предполагать, что выветривание было не только физическим, так как температурные колебания, вследствие малого развития гидросферы, играли значительную роль, но и химическим. Растворяющее действие атмосферных вод усиливалось углекислотой тогдашней атмосферы. Кора выветривания, весьма мало сходная по своему характеру с современной, тогда вероятно существовала.

Многообразные процессы разрушения кристаллической земной коры гипергенной эры, обусловленные денудацией и абразией, приводили не только к образованию коллоидов и растворов. В процессе разрушения, с образованием обломочных кристаллических зёрен, входящих в состав гальки, песка, глины, происходило одновременно обогащение отлагающихся осадков кремнезёмом и глинозёмом. В водоёмах, на базальтовой земной коре, накапливаются осадки, более кислые по своему составу, чем исходный материал. Здесь накапливаются пески, глины и, быть может, неорганические известняки. Среди химических осадков значительна роль железных руд – продуктов разрушения базальтов. Больше, по сравнению с современным, содержание магния обусловило образование химических доломитов.

Осадки попадают в различные участки морских водоёмов гипергенной эры. В одних из них, вблизи континентов и между континентами, осадконакопление происходит быстрее. В более удалённых участках процесс идёт медленнее. Подкоровая стекловатая масса также не остается пассивной. Большие толщи образуются в местах, где происходит прогиб дна морских водоёмов. Возникает впервые пелосфера – сфера илов. Накопление осадков вызывает давление вышележащих толщ. Осадки уплотняются. Воды, погребённые с илами, производят растворение. Из растворов выпадают новообразования. Диагенетические изменения как одновременные с образованием осадков, так и после их отложения приводят к превращению пелосферы в стратисферу. Сфера илов превращается, на известной глубине, в прогибах – в геосинклиналих, в сферу слоистых пород – стратисферу.

Коллоиды уже при диагенетических процессах начинают превращаться в кристаллы, но особенно сильно это проявляется при процессах метаморфизма. Начинается новая эра.

Метаморфогенная эра начинается, когда впервые из коллоида образуется кристалл. Этот процесс начинает проявляться ещё при диагенезе, при превращении осадков в породу. Но особенно сильно, на больших площадях и для всех коллоидных составляющих, это происходит при метаморфизме. Накопившиеся в геосинклинали осадки, превращённые диагенезом в породы, при дальнейшем погружении, и, особенно, при складкообразовании, попав в иные условия температуры и давления, метаморфизируются. Это происходит за счёт нескольких причин.

С одной стороны, это более высокие температура и давление, изменяющие погружившиеся в геосинклинали осадки (теперь уже породы). Это то, что именуется часто термометаморфизмом. Быть может, правильнее, для этого вида метаморфизма, оставить термин региональный метаморфизм, так как здесь играет роль не только температура, но и давление. Последнее название отражает проявление метаморфизма для всей области. В геосинклиналих имеются и явления локального метаморфизма. Это динамометаморфизм, или дислокационный, превращающий породы, начавшие собираться в центре геосинклинали в складки, в кристаллические сланцы. Переход коллоидов в кристаллы может произойти и за счёт другого вида метаморфизма – контактового.

Образование складок происходит на известном этапе развития геосинклинали, когда кристаллические породы дна водоёма, погружившиеся вместе с перекрывающими их породами и осадками, достигли глубоких зон, где термодинамические условия таковы, что кристаллическое основание начинает переходить в стекловатое

состояние. Благодаря уменьшению сопротивления геосинклинали боковому давлению в наиболее погрузившемся участке, т. е., примерно, в средней его части, происходит складкообразование. Сопротивление здесь наименьшее, так как жёсткое кристаллическое основание, до этого противостоявшее сжатию, перешло в стекловатое состояние, а перекрывающие его пластические страти- и пелосфера весьма подвижны.

Складкообразование сопровождается подъёмом подводного хребта на дне водоёма. Он находится либо всё ещё в субаквальной обстановке, либо в субаэральной. Уменьшение сопротивления приводит к внедрению в складчатое сооружение стекловатых масс как расплавленного основания, так и подкорковых в виде интрузий. Это уже не только основные интрузии. Дифференциация магмы, а главное, взаимодействие с осадочными породами, расплавление осадочных пород в наиболее глубоких частях геосинклинали приводят к появлению и более кислых разновидностей. Магмосфера, в новых условиях метаморфогенной эры, уже несколько изменяет свой характер. Образуется гранитосфера. По разломам происходят и поверхностные излияния (подводные и надводные).

Это уже также не всегда излияния основных лав. При прохождении через осадочную толщу магма её оплавляет, расплавляет, перекристаллизовывает. Это наиболее локализованный метаморфизм – контактовый. Так, за счёт сложного комплекса явлений, создается первая метаморфосфера, родившаяся в геосинклинали, а за счёт её расплавленная и кислая сфера, или гранитосфера.

Складкообразование проходило в несколько этапов или фаз, причём срок жизни разных геосинклиналей различен. Несколько фаз складкообразования приводит к тому, что на месте отрицательной структурной формы земного лика создается положительная. Вначале это остров – хребет или серия островов морского бассейна. При этом в осадкообразовании появляется неизвестное ранее явление. Возвышающийся среди моря остров, сложенный на периферии из осадочных пород, а в центральной части из метаморфических и магматических, начинает разрушаться как денудацией, так и абразией. В составе осадков моря, окружающего этот хребет, появляются продукты разрушения осадочных, метаморфических и более кислых магматических пород. Происходит дальнейший процесс обогащения осадков более стойкими в термодинамических и термохимических условиях поверхности земной коры кремнезёмом и алюмосиликатами. Состав осадков меняет свой химический облик.

Завершение перехода геосинклинали в её противоположность – геоантиклиналь – приводит к отмиранию геосинклинального режима. Переход этот сопровождается разломами и вулканическими явлениями. Часть поднявшегося участка превращается в сравнительно высокий горный хребет, который интенсивно разрушается денудационными процессами, давая в водоёмах или на прилегающей суше, продукты разрушения не только кристаллических пород, но осадочных и метаморфических. Восходящее движение сменяется для некоторых участков опусканием по разломам. На отколовшемся участке, на абразированной поверхности складчатого образования, начинают откладываться горизонтально лежащие осадки. Так формируется первая платформа. В других геосинклиналях, как образовавшихся ранее, так и зачатых после первого горообразования, идёт накопление осадков.

Мы не располагаем пока данными, сколько периодов складкообразования прошло, прежде чем наступил следующий, весьма важный этап в развитии атома. Если считать, что кислород тропосферы образовался за счёт деятельности организмов [2], то, с одной стороны, можно составить известное представление о длительности существования органической жизни на Земле и, с другой, приходится допускать анаэробность (в современном понимании) первых организмов на Земле. Мы не рассматриваем вопроса о том, в каких физико-химических условиях и за счёт каких химических реакций, на данном этапе развития нашей планеты, вероятно, не имеющих место, произошло образование организмов. Несомненным является лишь то, что в жизни Земли наступил такой момент, когда развитие нашей планеты создало условия для образования дальнейшей стадии развития атома – клетки. Сейчас нам рисуется, что метаморфоген предшествует эре жизни – биогену. Быть может, дальнейшее изучение покажет, что за гипергенной эрой следует биогенная. Ряд соображений заставляет считать более правильной предлагаемую схему.

Биогенная эра начинается с появления дальнейшей стадии развития атома – клетки. Причём в живом организме химический элемент меняет свой изотопический состав [3]. Этот новый могучий фактор, зародившийся в морях метаморфогена, развиваясь, привёл к изменению характера геохимических процессов на поверхности Земли, образованию новых геосфер, изменению состава старых. Пелосфера меняет свой состав. К химическому и физическому разрушению прибавляется биохимическое и биофизическое. По мере развития биосферы, органогенные илы начинают играть всё большую и большую роль. Гидросфера уже тоже не та. Здесь уже не только коллоидные взвеси, но и клетки. Превращение илов в породы меняет состав стратисферы. Органическая жизнь продолжает существовать в водах стратосферы. Первое же складкообразование вносит в метаморфосферу преобразованные органогенные породы. Газовые выделения организмов, высвобождающие кислород, азот и другие элементы, меняют состав приземной атмосферы. Постепенно завершается образование тропосферы и стратосферы, в современном понимании. Наступает момент, когда жизнь, существовавшая до этого только в водоёмах, приспособляется и к субаэральным условиям.

Ещё интенсивнее идёт преобразование тропо- и стратосферы. На суше появляются биохимическое и биофизическое выветривание. На известном этапе развития, верхняя часть коры выветривания превращается в педосферу. Илы рек и континентальных водоёмов уже захвачены жизнью. В приполярных областях и на вершинах гор находится сфера твёрдого состояния воды – кориосфера. Быть может, она появилась впервые в метаморфогене. Организмы не только преобразуют тропосферу, но и постепенно ею завладевают, по крайней мере, нижней частью. Пионерами являются насекомые, затем рептилии и птицы. С увеличением растительности

на суше, накопление её в водоемах даёт материал для углей. Отмирающие организмы, накапливаясь в условиях мелкоморья, служат исходным материалом для нефти и биогенных газов. Эволюция позвоночных приводит к появлению человека.

Первоначально человек мало чем отличался, по своей геохимической роли, от животных. Однако постепенно, по мере своего развития под влиянием труда, он всё более и более своим трудом перестраивает окружающее. Родившись в биогене (биогенная эра), человечество, постепенно развиваясь и увеличиваясь в числе, начинает переделывать состав геосфер. В геохимической истории нашей планеты наступает новая эра – поногенная.

Поногенная эра начинается с момента появления трудящегося человечества, с момента появления на нашей планете процессов, которые можно назвать поногенными (трудовыми). Мы не будем здесь рассматривать отдельные этапы постепенного превращения биосферы в ионосферу. Процесс этот начался сравнительно недавно.

Появление человека и его трудовая деятельность приводят к резкому увеличению роли организмов, посредством орудий, в перестройке земной поверхности. Этот скачок обусловлен трудом. Ле-Руа [5], а за ним и В. И. Вернадский [3] указывают на переход биосферы в ноосферу (ноос – разум). Процесс превращения биосферы в ионосферу всё ускоряется. Более резко это проявляется в последний десяток тысяч лет и особенно в последние столетия. Труд человека влияет на всё большее и большее число геосфер. Применение огня, скотоводство, земледелие, горнодобывающая промышленность, химическая индустрия, строительство, металлургия, транспорт и другие стороны многообразной и всё расширяющейся деятельности человека являются не только геологическим, но и геохимическим фактором. Деятельность человека не только изменяет существовавший до этого ход многих геохимических процессов, но и вызывает к жизни новые, неизвестные в прежние геохимические эры. Не исключена возможность, что, при некоторых поногенных процессах, химический элемент меняет свой изотопический состав.

Индустрия выделяет в атмосферу разнообразные газы и таким образом влияет на состав тропосферы. Не только тропосфера, завоёванная в биогене насекомыми и позвоночными, становится транспортным путем. Человечество, при посредстве летательных аппаратов, превращает постепенно верхнюю часть тропосферы и стратосферу в верхнюю границу поносферы. Газы летательных аппаратов выделяются в атмосферу. Питанием, изменением условий, удобрением изменяется животный и растительный мир.

В коре выветривания, пелосфере, стратосфере, метаморфосфере и магмосфере, человек, открытыми работами, рудниками и скважинами, добывает полезные ископаемые. В недра вводятся древесные стойки, покрывающиеся организмами, ставятся железные стойки, прокладываются шпалы, рельсы, железные трубы. Происходят процессы, никогда ранее не существовавшие.

Гидросфера, во всех её проявлениях, также изменяется человеком. В реки спускаются промышленные воды. Состав воды изменяется под влиянием гидротехнических сооружений, флота. Озёра также затронуты поногенными процессами. Человек в них спускает промышленные воды, добывает разнообразные полезные ископаемые, создает новые озёра.

Вмешательство в циркуляцию подземных вод, с изменением их состава, всё возрастает. Миллионы колодцев сообщают грунтовые воды непосредственно с атмосферой. Крепление их, водоподъёмные устройства влияют на состав воды. Выводятся на дневную поверхность пластовые, напорные и трещинные воды как для водоснабжения, так и при добыче твёрдых и жидких полезных ископаемых. Вода, проходя по трубам и выработкам, меняет свой состав.

Несколько меньше пока влияние человека на моря и океаны. Но и здесь водный транспорт, рыбный промысел, спускаемые воды и нефтяные остатки изменяют состав и этих водоёмов. Это отражается на гидросфере, менее затрагивая пелосферу. Вмешательство в пелосферу на континенте и теперь уже сравнительно велико. Человек создаёт искусственный лёд.

В результате разнообразной трудовой деятельности человека, геологи отмечают в коре выветривания особые пропластки, называемые культурным слоем. Ионосфера, однако, наиболее сконцентрирована на поверхности Земли, между тропосферой и педосферой. Здесь возвышаются современные сооружения и находят остатки разрушенных построек прошедших культур. Эти сооружения созданы процессами, сходными с осадочным, метаморфическим, магматическим и органогенным петрогенезом. Это искусственные камни: глинобитные сооружения, обожжённые кирпичи, бетон, плавленный базальт, пропитанная древесина, искусственная древесина.

Наиболее ярко заметны особенности поногена в металлургической, или вообще говоря, химической промышленности. На дневную поверхность из литосферы и из атмо- и гидросферы и организмов извлекаются различные вещества. Они используются как в естественном состоянии, так и после весьма сложной переработки. Происходят процессы, никогда до этого ранее не существовавшие. Создаются разнообразные неорганические, органогенные и смешанные соединения. В огромных массах получают свободные металлы и их сплавы. Достаточно назвать алюминий и магний, которые никогда ранее в свободном состоянии не существовали.

Деятельность человека создает малоустойчивые системы и направлена против естественно идущих геохимических реакций. Не исключена возможность, что эта деятельность отражается и на судьбе атома. Возможно, что при поногенных процессах, как и при переходе в живой организм, химический элемент меняет или будет менять свой изотопический состав. Изменение это, при затрате энергии, вероятно, приводит, в частности, к выведению элементов из циклов биогенной миграции. Вопрос этот требует изучения.

Верхней границей ионосферы является стратосфера, а нижней – магмосфера (гранитосфера). Ионосфера уже сейчас распространена более широко, чем ещё недавно биосфера.

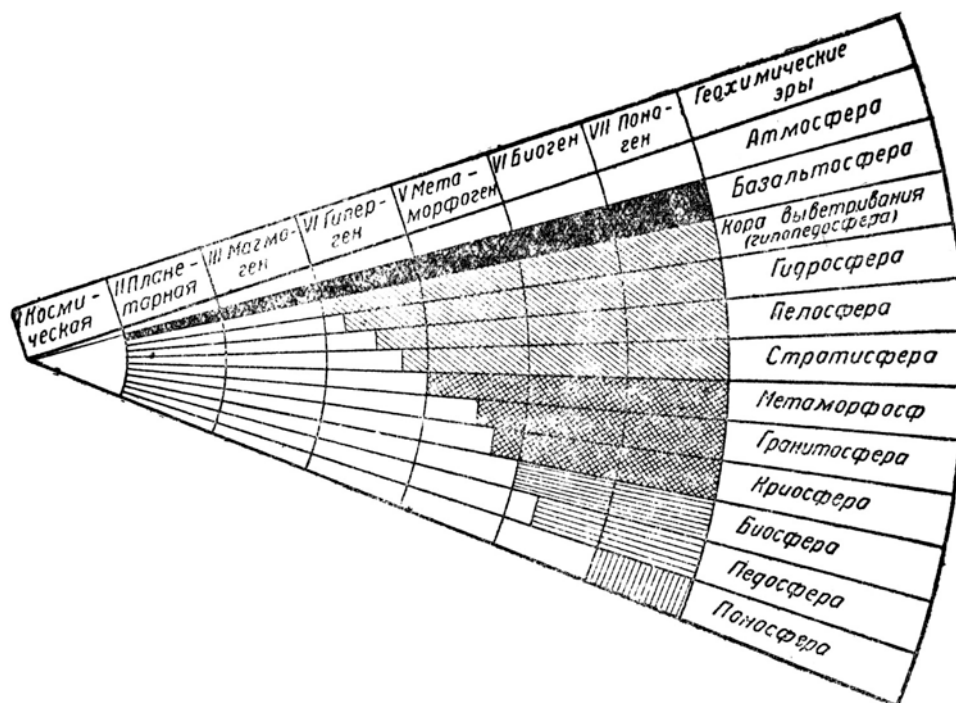
*
* *

Мы вкратце рассмотрели геохимические эры, в основном отражающие стадии развития атома. При этом была нарисована картина образования и развития геосфер по геохимическим эрам, как она представляется на данном уровне наших знаний. Из этого краткого очерка мы видим, что геосферы представляют собою результат геохимического развития нашей планеты, проявление этого развития в структуре Земли. Современное строение нашей планеты представляет результат длительного и сложного процесса развития структуры и состава нашей планеты. Геосферы появились в разные стадии развития атома, в разные геохимические эры. Появившись, они продолжают существовать до наших дней. Однако с каждой новой стадией развития атома, в каждую новую геохимическую эру, вследствие появления нового фактора, образуется новая геосфера (или несколько) и изменяются ранее существовавшие поверхностные геосферы. Более подробно мы показали это для биогенной и особенно для поногенной эр. Подобное явление имело место и ранее. Картину развития структуры нашей планеты – появление главнейших геосфер иллюстрирует график (фиг. 1).

Многое ещё остается неясным. Криосфера нами помещена после метаморфосферы условно. Современная нам гранитосфера представляет результат длительного развития структуры. Не показано появление стратосферы и тропосферы. Задача графика показать постепенное усложнение строения нашей планеты по геохимическим эрам.

Выше мы указывали, что каждая геохимическая эра характеризуется не только появлением одной или нескольких новых геосфер, но и изменением состава ранее существовавших. В качестве примера рассмотрим развитие атмосфер.

Появление стратосферы и тропосферы – историко-геохимическое явление. Это результат развития нашей планеты, результат её дегазации. Космическое пространство вокруг планеты постепенно заполняется газами, выделившимися при планетарной стадии. После затвердевания поверхности, выделяются газы первых вулканов и т. д. Развитие атмосферы показано на схеме (фиг. 2), с каждой новой геохимической эрой появляются новые геосферы, новые процессы. Появляются новые источники пополнения атмосферы и несколько изменяется, под влиянием этого, характер дегазации, ранее существовавших.



Фиг. 1. Развитие геосфер по геохимическим эрам.

Вулканы магмогенной эры, когда базальтовая кора только одела Землю и осадочных пород ещё не было, давали несколько иные газы, чем вулканы геосинклиналей последующих эр, когда увеличивающаяся толща вначале анорганогенных, а затем и органогенных осадков и пород, оказывала влияние на состав газов прорывающихся сквозь неё вулканов. В результате этого сложного и изменяющегося во времени процесса дегазации и создана современная газовая оболочка Земли. При этом, конечно, всё время происходило не только выделение газов в атмосферу, но и поглощение некоторых составных частей поверхностными геосферами. Так, например, количество углекислоты в атмосфере докембрия было больше [4]. Дифференциация атмосферы на ионосферу, стратосферу и тропосферу есть результат этого историкогеохимического процесса. Время начала обособления

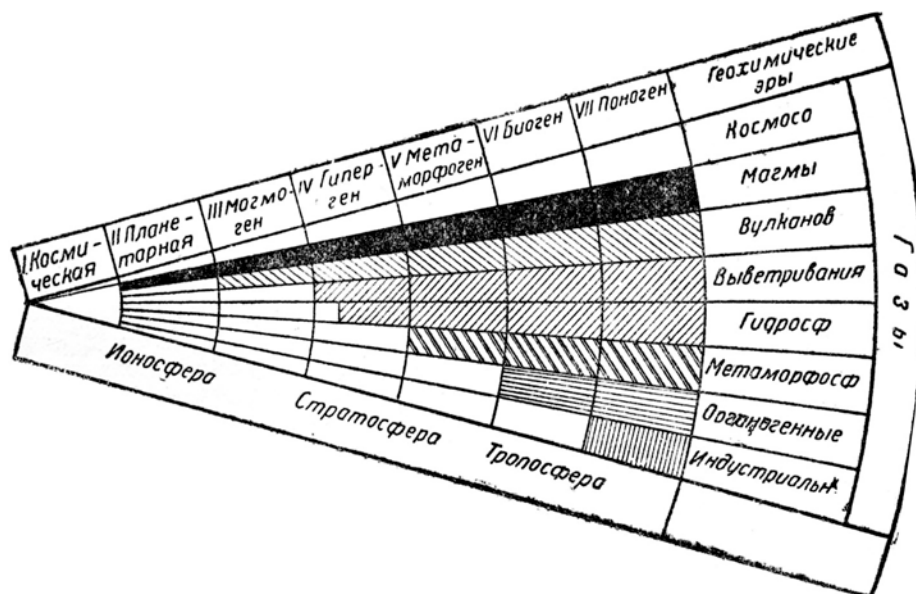
стратосферы и тропосферы может быть в настоящее время намечено только предположительно.

Подведем вкратце итоги. Развитие структуры нашей планеты можно разделить на семь этапов – стадий развития атома, или геохимических эр. Это космическая, планетарная, магмогенная, гипергенная, метаморфическая, биогенная и поногенная эры.

В магматическую эру на Земле появляется твёрдая кристаллическая кора, а в гипергене коллоиды. Это продукты выветривания и илы на дне водоёмов, образующие кору выветривания, или гипопедосферу и пелосферу. С гипергенной эры начинается процесс разрушения кристаллической земной коры и образование новых поверхностных геосфер, обуславливающих дисимметрию земного шара, а также образующихся в окружающей его газовой оболочке. Это гранитосфера, метаморфосфера, стратосфера, пелосфера, гидросфера, нижняя часть коры выветривания (гипопедосфера), педосфера, криосфера, стратисфера.

С биогенной эры процесс взаимопроникновения геосфер, ранее развитый в более слабой степени (фазовые геосферы), приобретает большое значение. Гидросфера сосредоточена, главным образом, на поверхности Земли, заполняя океанические и морские впадины и небольшие углубления и водотоки на суше. Однако, начиная с гипергенной эры, когда гидросфера и появляется, начинается постепенное проникновение воды в другие более молодые сферы. На суше вода проникает в кору выветривания, образуя грунтовые воды. Это способствует появлению, со временем речных систем, так как до этого вода, выпадавшая в виде атмосферных осадков, быстро стекала в водоёмы. Инфильтрировавшие в рыхлые породы коры выветривания атмосферные воды, медленно продвигаясь, образуют водотоки. Вода проникает в илы на дне водоёмов, образуя воды пелосферы. Превращение пелосферы в стратисферу даёт впервые пластовые воды. При переходе стратисферы в метаморфосферу, если поры в пластах не уничтожены полностью (например, при превращении песчаника в кварцит), вода и здесь остаётся, либо проникает с поверхности. Вода циркулирует по трещинам в метаморфосфере и гранитосфере и т. д. Через определённый промежуток времени вода проникает во все поверхностные геосферы.

Помимо проникновения в той же фазе, мы наблюдаем её в газообразном состоянии в атмосфере, в твёрдом состоянии на поверхности лито- и гидросферы и даже в верхних зонах литосферы. Вода проникает в поверхностные геосферы, от пелосферы и педосферы до метаморфосферы и гранитосферы, за счёт вхождения в состав пород и минералов. Вода в жидком состоянии, после метаморфогена, проникает в биосферу и поносферу.



Фиг. 2. Развитие атмосферы по геохимическим эрам.

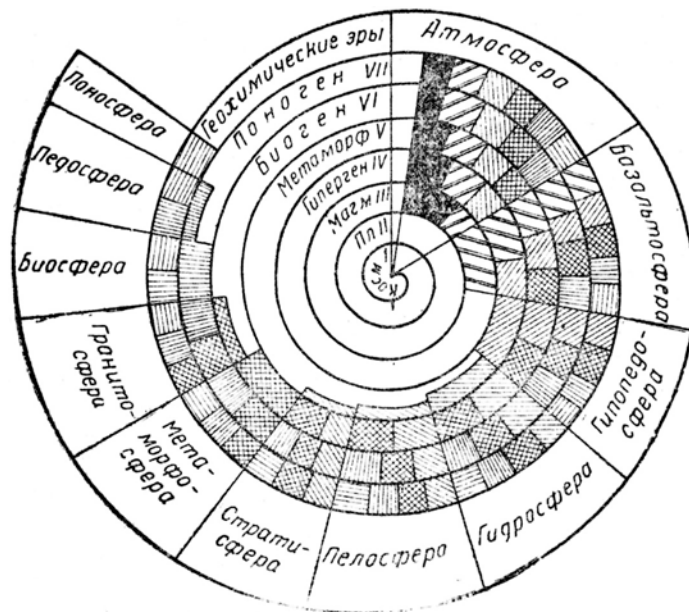
Можно говорить о полном взаимопроникновении вещества геосфер, либо в той же фазе, либо в виде других. Такое же явление наблюдается и для атмосферы (подземные атмосферы В. И. Вернадского [1]).

Менее нагляден этот процесс для гипопедосферы, пелосферы и других. Однако и здесь, в процессе развития структуры Земли, материал этих геосфер, в конечном итоге, проникает в различных фазах в другие геосферы. Гранитосфера же не только сама образуется из материала других геосфер, но и совершенно отчётливо в них проникает.

Более ярко этот процесс взаимопроникновения можно наблюдать для биосферы, распространившейся на ряд геосфер и образовавшей оболочку. То же явление мы сейчас наблюдаем для ионосферы, границы которой больше биосферы.

Взаимопроникновение вещества геосфер, с увеличением числа сфер, захваченных данной оболочкой, составляет основной закон развития геосфер. Этим обусловлено их изменение, под влиянием появившегося нового фактора. Каждая геохимическая эра, являющаяся новым этапом развития атома, отражается в структуре нашей планеты появлением новых геосфер и изменением состава других поверхностных геосфер, за счёт взаимопроникновения. Взаимопроникновение геосфер проявляется двояко. Для геосфер в жидкой, газообразной фазе, а также биогенной и труда, проникающие их части находятся в других геосферах по большей части

достаточно обособленно и потому легко наблюдаемы. Для других геосфер проникновение происходит в виде продуктов разрушения (или с изменением фазы), которые, диффузорно рассеиваясь, не имеют обособленного характера. Изменение состава геосфер, по мере развития структуры Земли, по геохимическим эрам, показано на графике (фиг. 3).



Фиг. 3. Изменение состава геосфер по геохимическим эрам.

Историческое изучение геохимических процессов нами было показано на развитии геосфер. Однако историческая геохимия имеет не только теоретическое значение, но и практическое.

При изучении полезных ископаемых биогенного происхождения геологическая хронология, в настоящее время более детальная, была достаточна. Так выделяются эпохи углеобразования. Однако и здесь, для изучения химической стороны процесса, имеется достаточное поле деятельности. Если же мы обратимся к полезным ископаемым, концентрирующимся не только с участием организмов, то здесь особенно необходим историко-геохимический подход. По мере развития структуры нашей планеты, для разных этапов её геохимического развития, изменяется характер генетических типов этих полезных ископаемых. Интересна в этом отношении работа Н. М. Страхова о гипергенных железных рудах [6].

Появление железофосфатных месторождений с конца палеозоя хорошо увязывается с развитием органического мира в биогене и всё увеличивающейся ролью органогенных осадков в морях. Приуроченность же преобладающего большинства гипергенных железных руд к докембрию прекрасно иллюстрирует изменение состава осадков во времени. В позднем гипергене, метаморфогене и начале биогена, когда всё возрастающая роль осадочных пород в строении континентов всё же была незначительна, в море откладывалось как продукт разрушения основных кристаллических пород – железо. Этому способствовали, вероятно, и обильные эффузии и интрузии добиогена, тоже более основного характера. Благоприятная обстановка для выветривания на континентах, лишённых растительного покрова, большое содержание CO_2 в атмосфере и океанах докембрия, меньшая расчленённость рельефа земной поверхности и ряд других факторов этому также способствовали.

На изменении количества CO_2 , растворённого в водах докембрийских морей, обратил внимание А. Виноградов [4]. Это нашло свое отражение в характере скелетов беспозвоночных.

Историческая геохимия находится еще в стадии накопления фактов. Рассмотрение новых вопросов и пересмотр уже известных фактов, в свете геохимического развития нашей планеты, даст новые данные. Это позволит углубить наши знания в области исторической геохимии. Геохимические эры будут еще разделены на периоды и эпохи. Историческое рассмотрение развития геохимических процессов не только обогатит теорию, но и откроет новую страницу в области геохимии полезных ископаемых.

Литература

- [1] В. И. Вернадский. История минералов земной коры, т. II. История природных вод. В. I – 1933, в. II – 1934, в. III – 1936.
 [2] В. И. Вернадский. Проблемы биогеохимии. I. Значение биогеохимии для познания биосферы. М.–Л. 1935. [3] В. И. Вернадский. Проблемы биогеохимии. II. О коренном материально-энергетическом отличии живых и косных естественных тел биосферы. М.–Л. 1939.
 [4] А. П. Виноградов. О причине отсутствия известковых (из CaCO_3) скелетов у докембрийских беспозвоночных. Докл. АН. 1940. т. XXVII, № 3, стр. 230. [5] E. Le Roy. L'exigence idéaliste et le fait d'évolution. P., 1937, p 196. [6] Н. М. Страхов. Историко-геологические закономерности формирования гипергенных железных руд. Изв. АН, сер. геол., 1940, в. 3, стр. 3. [7] А. Е. Ферсман. История атома в истории Земли. Природа, № 4, 1929, стр. 294. [8] А. Е. Ферсман. Законы эволюции в химии земной коры. Природа, № 3, 1930, стр. 267. [9] А. Е. Ферсман. Геохимия, т. II, 1934, стр. 91, 104.

К ИСТОРИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

(Историческая геохимия)

Г. А. МАКСИМОВИЧ

Среди наук, изучающих нашу планету с различных точек зрения, можно назвать астрономию, географию, геологию, геофизику и наиболее молодую из них — геохимию. Благодаря работам В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана, В. М. Гольдшмидта, П. Ниггли и ряда других, геохимия начинает развиваться в самостоятельную науку. Особенно велика заслуга А. Е. Ферсмана, объединившего различные течения в одно стройное целое. Однако несомненно, что мы являемся свидетелями только начала юношеских лет этой молодой отрасли знаний. Она будет в дальнейшем всё развиваться и разделится на целый ряд наук. Благодаря работам В. И. Вернадского и его лаборатории родилась и успешно развивается новая ветвь — биогеохимия. На очереди стоит вопрос об исторической геохимии.

Современная геохимия, в том виде, как она даётся А. Е. Ферсманом, это учение о химической сущности процессов в мироздании, на нашей планете в частности и, главным образом, в земной коре. Встречаясь с различными стадиями развития планет, разными стадиями развития земной коры, геохимия в основном изучает химическую сторону происшедших и происходящих в земной коре процессов. Существующее направление можно коротко назвать динамической геохимией. Намечается и другое направление — историческая геохимия.

Современное распределение элементов на земном шаре является результатом сложного процесса развития нашей планеты. Для того, чтобы разобраться во всём многообразии современных ассоциаций элементов, обусловленных различными процессами, необходимо уделять должное внимание истории геохимических процессов или исторической геохимии. Только ясное представление (поскольку это возможно на данном уровне знаний) о геохимическом развитии

нашей планеты и земной коры, поможет нам разобраться в современной геохимии Земли. Основные стадии химического развития нашей планеты, основанные на стадиях развития атома, блестяще наметил А. Е. Ферсман [7, 8, 9]. Конечно, не все стадии геохимической истории нашей планеты могут быть одинаково подробно освещены. Наибольшими сведениями мы обладаем по более близкому к нам времени. Нас не должна останавливать неполнота данных о первых этапах развития нашей планеты. Рост наших знаний будет всё уточнять картину развития геохимических процессов.

В геохимии, по характеру самой науки, основными этапами в истории геохимических процессов нашей планеты будут стадии развития атома. Рассматривая историю атома, А. Е. Ферсман выделил следующие стадии геохимической истории Земли: космическую, планетарную, магматическую, гипергенную, стадию жизни (биогенез и техногенез) и метаморфическую. Это основные периоды в истории Земли как космического тела, её охлаждения и дальнейших геохимических процессов.

Мы вводим понятие о поногенной стадии, а метаморфическую считаем предшествующей биогенной. В результате основными стадиями геохимического развития нашей планеты или, как их удобнее называть, геохимическими эрами будут: I — космическая, II — планетарная, III — магмогенная, IV — гипергенная, V — метаморфогенная, VI — биогенная, VII — поногенная. Последняя эра названа от греческого *πόνος* — труд. Этим оттеняется, что процессы, характерные для этой стадии, обусловлены трудом человека.

Какие же особенности каждой из эр? Космическая эра в истории атома характеризуется накоплением комплекса атомов различных типов, ионизированными атомами. Такое состояние атомов обусловлено нахождением

1943

их в обстановке лучистой энергии.

Планетарная эра является дальнейшей стадией развития атома. На каком-то участке мироздания возникает узел сгущения. Путь, по которому идёт этот процесс и создаётся своеобразный клубок атомов, рисуется по-разному. Он указан Кантом и Лапласом, Чемберленом и Джинсом и другими. Несомненно одно — в таком узле сгущения, как наша планета, при переходе из обстановки космических температур в более низкие, образуется известное нам число атомов, обладающих знакомыми нам химическими свойствами элементов. При этом атомы, образующие нашу планету, проходят через расплавленное состояние. Происходит ли это сразу для всего клубка атомов или постепенно, отдельными частями, сказать сейчас трудно. В состоянии расплава сближенные атомы подчиняются законам физической химии и электролитической диссоциации. Происходит перераспределение атомов, обусловленное этими законами, на металлическое ядро и наружные более лёгкие оболочки, с газами и летучими веществами на периферии. Это первичное распределение вещества, обусловленное электрохимическими и термохимическими процессами, приводит к новой стадии в развитии атома. Атомы образуют первые химические соединения — молекулы. Но, в обстановке высоких температур и давлений стадии планеты, это ещё сравнительно подвижные равновесные стёкла. Эти соединения, свидетели планетарной стадии нашей Земли, мы сейчас можем найти во внутренних оболочках. Однако они сейчас находятся уже несколько в иных условиях, благодаря наличию не существовавшей ранее твёрдой земной коры.

Магматическая, или магмогенная, эра начинается с момента затвердевания расплава на поверхности нашей планеты. Это новая стадия в развитии атома. На смену жидкого или, правильнее, стекловатого состояния, обусловленного наличием как свободных атомов, так и молекул, впервые появляется твёрдая гармоническая постройка из атомов в виде кристалла.

Из этих кристаллов строится наружная оболочка нашей планеты — земная кора. Образуются породы, близкие по своему составу к современным базальтам. По мере развития нашей планеты эта кристаллическая оболочка увеличивается в своей мощности, за счёт перехода подкорового стекла в кристаллическое состояние. Свидетели состояния атома в планетарной стадии, изменённые в процессе развития Земли, сейчас скрыты от наших взоров целым рядом оболочек, образовавшихся позднее.

Кристаллическая оболочка всё прочнее облекает заключённые в ней стекловатые массы. Мощность этой оболочки растёт. Кристаллизация сопровождается дегазацией наружных частей нашей планеты. Сквозь твёрдую, но ещё весьма тонкую оболочку прорываются стекловатые подкоровые массы и выделяют газы и летучие вещества. Когда земная поверхность уже имеет температуру ниже 100° , из окружающей газовой оболочки на земную кору, на поверхность твёрдой оболочки, выпадает первый горячий дождь. Образуется впервые в истории нашей планеты гидросфера. Наступает новая геохимическая эра — гипергенная.

Эра процессов земной поверхности, гипергенная эра, представляет новую стадию развития атома. Из кристаллических решёток земной коры, под влиянием внешних факторов, происходит образование коллоидов и их ячеек — мицелл.

Мицелла уже представляет совокупность атомов, молекул и кристаллических масс. Каковы же поверхностные факторы, которые обуславливают образование этих коллоидов из кристаллов? Несомненно здесь роль воды. Вода заняла углубления в земной поверхности, созданной в магмогенную эру. Повидимому, они были значительно меньше современных. Влияние недр земли, с её температурами, сказывается уже в меньшей степени, так как они отделены плохой теплопроводной симической оболочкой. Начинается круговорот воды на земной поверхности, под влиянием солнечной энергии. Происходит раз-

рушение кристаллической земной коры водой и снос этого материала в водоёмы того времени. Это не пресные озера, а моря, где в растворе уже имеются натрий, калий, хлор, бор, иод и бром. Это, как и вода, продукты дегазации Земли как в планетарную, так и магмогенную эры.

Разрушение кристаллической земной коры, с образованием раздробленных пород, коллоидов и растворённых веществ, производится дождём, водными потоками и водой морей гипергенной эры. Гидросфера разрушает кристаллическую оболочку Земли и физически и химически. Известную роль в этом процессе играет и выветривание.

Нам неизвестен состав атмосферы гипергенной эры. Мы должны предполагать, что он был иным, поскольку современная тропосфера представляет результат дальнейшего, весьма длительного, развития нашей планеты. Однако можно предполагать, что выветривание было не только физическим, так как температурные колебания, вследствие малого развития гидросферы, играли значительную роль, но и химическим. Растворяющее действие атмосферных вод усиливалось углекислотой тогдашней атмосферы. Кора выветривания, весьма мало сходная по своему характеру с современной, тогда вероятно существовала.

Многообразные процессы разрушения кристаллической земной коры гипергенной эры, обусловленные денудацией и абразией, приводили не только к образованию коллоидов и растворов. В процессе разрушения, с образованием обломочных кристаллических зёрен, входящих в состав гальки, песка, глины, происходило одновременно обогащение отлагающихся осадков кремнезёмом и глинозёмом. В водоёмах, на базальтовой земной коре, накапливаются осадки, более кислые по своему составу, чем исходный материал. Здесь накапливаются пески, глины и, быть может, неорганические известняки. Среди химических осадков значительна роль железных руд — продуктов разрушения базальтов. Бóльшее, по сравне-

нию с современным, содержание магния обусловило образование химических доломитов.

Осадки попадают в различные участки морских водоёмов гипергенной эры. В одних из них, вблизи континентов и между континентами, осадконакопление происходит быстрее. В более удалённых участках процесс идёт медленнее. Подкорковая стекловатая масса также не остается пассивной. Большие толщи образуются в местах, где происходит прогиб дна морских водоёмов. Возникает впервые пелосфера — сфера илов. Накопление осадков вызывает давление вышележащих толщ. Осадки уплотняются. Воды, погребённые с илами, производят растворение. Из растворов выпадают новообразования. Диагенетические изменения как одновременные с образованием осадков, так и после их отложения приводят к превращению пелосферы в стратисферу. Сфера илов превращается, на известной глубине, в прогибах — в геосинклиналях, в сферу слоистых пород — стратисферу.

Коллоиды уже при диагенетических процессах начинают превращаться в кристаллы, но особенно сильно это проявляется при процессах метаморфизма. Начинается новая эра.

Метаморфогенная эра начинается, когда впервые из коллоида образуется кристалл. Этот процесс начинает проявляться ещё при диагенезе, при превращении осадков в породу. Но особенно сильно, на больших площадях и для всех коллоидных составляющих, это происходит при метаморфизме. Накопившиеся в геосинклиналях осадки, превращённые диагенезом в породы, при дальнейшем погружении, и, особенно, при складкообразовании, попав в иные условия температуры и давления, метаморфизируются. Это происходит за счёт нескольких причин.

С одной стороны, это более высокие температура и давление, изменяющие погружившиеся в геосинклиналь осадки (теперь уже породы). Это то, что именуется часто термометаморфизмом. Быть может, правильнее, для этого вида метаморфиз-

ма, оставить термин региональный метаморфизм, так как здесь играет роль не только температура, но и давление. Последнее название отражает проявление метаморфизма для всей области. В геосинклиналях имеются и явления локального метаморфизма. Это динамо-метаморфизм, или дислокационный, превращающий породы, начавшие собираться в центре геосинклинали в складки, в кристаллические сланцы. Переход коллоидов в кристаллы может произойти и за счёт другого вида метаморфизма — контактового.

Образование складок происходит на известном этапе развития геосинклинали, когда кристаллические породы дна водоёма, погружившиеся вместе с перекрывающими их породами и осадками, достигли глубоких зон, где термодинамические условия таковы, что кристаллическое основание начинает переходить в стекловатое состояние. Благодаря уменьшению сопротивления геосинклинали боковому давлению в наиболее погружившемся участке, т. е., примерно, в средней его части, происходит складкообразование. Сопротивление здесь наименьшее, так как жёсткое кристаллическое основание, до этого противостоявшее сжатию, перешло в стекловатое состояние, а перекрывающие его пластические страти- и пелосфера весьма подвижны.

Складкообразование сопровождается подъёмом подводного хребта на дне водоёма. Он находится либо всё ещё в субаквальном состоянии, либо в субаэральном. Уменьшение сопротивления приводит к внедрению в складчатое сооружение стекловатых масс как расплавленного основания, так и подкоровых в виде интрузий. Это уже не только основные интрузии. Дифференциация магмы, а главное, взаимодействие с осадочными породами, расплавление осадочных пород в наиболее глубоких частях геосинклинали приводят к появлению и более кислых разновидностей. Магмосфера, в новых условиях метаморфогенной эры, уже несколько изменяет свой характер. Образуется гранитосфера. По разломам происхо-

дят и поверхностные излияния (подводные и надводные).

Это уже также не всегда излияния основных лав. При прохождении через осадочную толщу магма её оплавляет, расплавляет, перекристаллизует. Это наиболее локализованный метаморфизм — контактовый. Так, за счёт сложного комплекса явлений, создается первая метаморфосфера, родившаяся в геосинклинали, а за счёт её расплавленная и кислая сфера, или гранитосфера.

Складкообразование проходило в несколько этапов или фаз, причём срок жизни разных геосинклиналей различен. Несколько фаз складкообразования приводит к тому, что на месте отрицательной структурной формы земного лика создается положительная. Вначале это остров — хребет или серия островов морского бассейна. При этом в осадкообразовании появляется неизвестное ранее явление. Возвышающийся среди моря остров, сложенный на периферии из осадочных пород, а в центральной части из метаморфических и магматических, начинает разрушаться как денудацией, так и абразией. В составе осадков моря, окружающего этот хребет, появляются продукты разрушения осадочных, метаморфических и более кислых магматических пород. Происходит дальнейший процесс обогащения осадков более стойкими в термодинамических и термохимических условиях поверхности земной коры кремнезёмом и алюмосиликатами. Состав осадков меняет свой химический облик.

Завершение перехода геосинклинали в её противоположность — геантиклиналь — приводит к отмиранию геосинклинального режима. Переход этот сопровождается разломами и вулканическими явлениями. Часть поднявшегося участка превращается в сравнительно высокий горный хребет, который интенсивно разрушается денудационными процессами, давая в водоёмах или на прилегающей суше, продукты разрушения не только кристаллических пород, но осадочных и метаморфических. Восходящее движение сменяется для некоторых уча-

стков опусканием по разломам. На отколовшемся участке, на абрадирующей поверхности складчатого образования, начинают откладываться горизонтально лежащие осадки. Так формируется первая платформа. В других геосинклиналях, как образовавшихся ранее, так и зачатых после первого горообразования, идёт накопление осадков.

Мы не располагаем пока данными, сколько периодов складкообразования прошло, прежде чем наступил следующий, весьма важный этап в развитии атома. Если считать, что кислород тропосферы образовался за счёт деятельности организмов [2], то, с одной стороны, можно составить известное представление о длительности существования органической жизни на Земле и, с другой, приходится допускать анаэробность (в современном понимании) первых организмов на Земле. Мы не рассматриваем вопроса о том, в каких физико-химических условиях и за счёт каких химических реакций, на данном этапе развития нашей планеты, вероятно, не имеющих место, произошло образование организмов. Несомненным является лишь то, что в жизни Земли наступил такой момент, когда развитие нашей планеты создало условия для образования дальнейшей стадии развития атома — клетки. Сейчас нам рисуется, что метаморфоген предшествует эре жизни — биогену. Быть может, дальнейшее изучение покажет, что за гипергенной эрой следует биогенная. Ряд соображений заставляет считать более правильной предлагаемую схему.

Биогенная эра начинается с появления дальнейшей стадии развития атома — клетки. Причём в живом организме химический элемент меняет свой изотопический состав [3]. Этот новый могучий фактор, зародившись в морях метаморфогена, развиваясь, привёл к изменению характера геохимических процессов на поверхности Земли, образованию новых геосфер, изменению состава старых. Пелосфера меняет свой состав. К химическому и физическому разрушению прибавляется биохимическое и биофизи-

ческое. По мере развития биосферы, органогенные илы начинают играть всё большую и большую роль. Гидросфера уже тоже не та. Здесь уже не только коллоидные взвеси, но и клетки. Превращение илов в породы меняет состав стратисферы. Органическая жизнь продолжает существовать в водах стратосферы. Первое же складкообразование вносит в метаморфосферу преобразованные органогенные породы. Газовые выделения организмов, высвобождающие кислород, азот и другие элементы, меняют состав приземной атмосферы. Постепенно завершается образование тропосферы и стратосферы, в современном понимании. Наступает момент, когда жизнь, существовавшая до этого только в водоёмах, приспособляется и к субэральным условиям.

Ещё интенсивнее идёт преобразование тропо- и стратосферы. На суше появляются биохимическое и биофизическое выветривание. На известном этапе развития, верхняя часть коры выветривания превращается в педосферу. Илы рек и континентальных водоёмов уже захвачены жизнью. В приполярных областях и на вершинах гор находится сфера твёрдого состояния воды — кориосфера. Быть может, она появилась впервые в метаморфогене. Организмы не только преобразуют тропосферу, но и постепенно ею завладевают, по крайней мере, нижней частью. Пионерами являются насекомые, затем рептилии и птицы. С увеличением растительности на суше, накопление её в водоёмах даёт материал для углей. Отмирающие организмы, накапливаясь в условиях мелкоморья, служат исходным материалом для нефти и биогенных газов. Эволюция позвоночных приводит к появлению человека.

Первоначально человек мало чем отличался, по своей геохимической роли, от животных. Однако постепенно, по мере своего развития под влиянием труда, он всё более и более своим трудом перестраивает окружающее. Родившись в биогене (биогенная эра), человечество, постепенно развиваясь и увеличиваясь в числе, начинает переделывать состав

геосфер. В геохимической истории нашей планеты наступает новая эра — поногенная.

Поногенная эра начинается с момента появления трудящегося человечества, с момента появления на нашей планете процессов, которые можно назвать поногенными (трудовыми). Мы не будем здесь рассматривать отдельные этапы постепенного превращения биосферы в поносферу. Процесс этот начался сравнительно недавно.

Появление человека и его трудовая деятельность приводят к резкому увеличению роли организмов, посредством орудий, в перестройке земной поверхности. Этот скачок обусловлен трудом. Ле-Руа [6], а за ним и В. И. Вернадский [3] указывают на переход биосферы в ноосферу (ноос — разум). Процесс превращения биосферы в поносферу всё ускоряется. Более резко это проявляется в последний десяток тысяч лет и особенно в последние столетия. Труд человека влияет на всё большее и большее число геосфер. Применение огня, скотоводство, земледелие, горнодобывающая промышленность, химическая индустрия, строительство, металлургия, транспорт и другие стороны многообразной и всё расширяющейся деятельности человека являются не только геологическим, но и геохимическим фактором. Деятельность человека не только изменяет существовавший до этого ход многих геохимических процессов, но и вызывает к жизни новые, неизвестные в прежние геохимические эры. Не исключена возможность, что, при некоторых поногенных процессах, химический элемент меняет свой изотопический состав.

Индустрия выделяет в атмосферу разнообразные газы и таким образом влияет на состав тропосферы. Не только тропосфера, завоеванная в биогене насекомыми и позвоночными, становится транспортным путем. Человечество, при посредстве летательных аппаратов, превращает постепенно верхнюю часть тропосферы и стратисферу в верхнюю границу поносферы. Газы летательных аппара-

тов выделяются в атмосферу. Питанием, изменением условий, удобрением изменяется животный и растительный мир.

В коре выветривания, пелосфере, стратисфере, метаморфосфере и магмосфере, человек, открытыми работами, рудниками и скважинами, добывает полезные ископаемые. В недра вводятся древесные стойки, покрывающиеся организмами, ставятся железные стойки, прокладываются шпалы, рельсы, железные трубы. Происходят процессы, никогда ранее не существовавшие.

Гидросфера, во всех её проявлениях, также изменяется человеком. В реки спускаются промышленные воды. Состав воды изменяется под влиянием гидротехнических сооружений, флота. Озёра также затронуты поногенными процессами. Человек в них спускает промышленные воды, добывает разнообразные полезные ископаемые, создает новые озёра.

Вмешательство в циркуляцию подземных вод, с изменением их состава, всё возрастает. Миллионы колодцев сообщают грунтовые воды непосредственно с атмосферой. Крепление их, водоподъёмные устройства влияют на состав воды. Выводятся на дневную поверхность пластовые, напорные и трещинные воды как для водоснабжения, так и при добыче твёрдых и жидких полезных ископаемых. Вода, проходя по трубам и выработкам, меняет свой состав.

Несколько меньше пока влияние человека на моря и океаны. Но и здесь водный транспорт, рыбный промысел, спускаемые воды и нефтяные остатки изменяют состав и этих водоёмов. Это отражается на гидросфере, менее затрагивая пелосферу. Вмешательство в пелосферу на континенте и теперь уже сравнительно велико. Человек создаёт искусственный лёд.

В результате разнообразной трудовой деятельности человека, геологи отмечают в коре выветривания особые пропластки, называемые культурным слоем. Поносфера, однако, наиболее сконцентрирована на поверхности Земли, между тропосферой и педосферой. Здесь возвышаются

современные сооружения и находят остатки разрушенных построек прошедших культур. Эти сооружения созданы процессами, сходными с осадочным, метаморфическим, магматическим и органогенным петрогенезом. Это искусственные камни: глинобитные сооружения, обожжённые кирпичи, бетон, плавленный базальт, пропитанная древесина, искусственная древесина.

Наиболее ярко заметны особенности поногена в металлургической, или вообще говоря, химической промышленности. На дневную поверхность из литосферы и из атмосферы и гидросферы организмов извлекаются различные вещества. Они используются как в естественном состоянии, так и после весьма сложной переработки. Происходят процессы, никогда до этого ранее не существовавшие. Создаются разнообразные неорганические, органогенные и смешанные соединения. В огромных массах получают свободные металлы и их сплавы. Достаточно назвать алюминий и магний, которые никогда ранее в свободном состоянии не существовали.

Деятельность человека создает малоустойчивые системы и направлена против естественно идущих геохимических реакций. Не исключена возможность, что эта деятельность отражается и на судьбе атома. Возможно, что при поногенных процессах, как и при переходе в живой организм, химический элемент меняет или будет менять свой изотопический состав. Изменение это, при затрате энергии, вероятно, приводит, в частности, к выведению элементов из циклов биогенной миграции. Вопрос этот требует изучения.

Верхней границей поносферы является стратосфера, а нижней — магмосфера (гранитосфера). Поносфера уже сейчас распространена более широко, чем ещё недавно биосфера.

* * *

Мы вкратце рассмотрели геохимические эры, в основном отражающие стадии развития атома. При этом была нарисована картина образования и развития геосфер по геохими-

ческим эрам, как она представляется на данном уровне наших знаний. Из этого краткого очерка мы видим, что геосферы представляют собою результат геохимического развития нашей планеты, проявление этого развития в структуре Земли. Современное строение нашей планеты представляет результат длительного и сложного процесса развития структуры и состава нашей планеты. Геосферы появились в разные стадии развития атома, в разные геохимические эры. Появившись, они продолжают существовать до наших дней. Однако с каждой новой стадией развития атома, в каждую новую геохимическую эру, вследствие появления нового фактора, образуется новая геосфера (или несколько) и изменяются ранее существовавшие поверхностные геосферы. Более подробно мы показали это для биогенной и особенно для поногенной эр. Подобное явление имело место и ранее. Картину развития структуры нашей планеты — появление главнейших геосфер иллюстрирует график (фиг. 1).

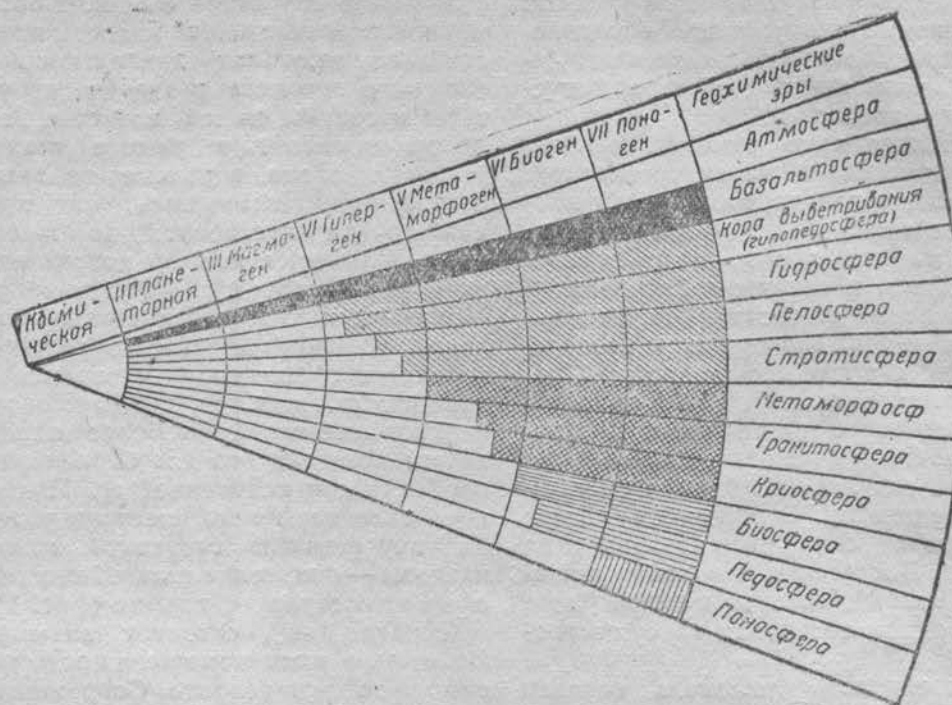
Многое ещё остается неясным. Криосфера нами помещена после метаморфосферы условно. Современная нам гранитосфера представляет результат длительного развития структуры. Не показано появление стратосферы и тропосферы. Задача графика показать постепенное усложнение строения нашей планеты по геохимическим эрам.

Выше мы указывали, что каждая геохимическая эра характеризуется не только появлением одной или нескольких новых геосфер, но и изменением состава ранее существовавших. В качестве примера рассмотрим развитие атмосферы.

Появление стратосферы и тропосферы — историко-геохимическое явление. Это результат развития нашей планеты, результат её дегазации. Космическое пространство вокруг планеты постепенно заполняется газами, выделившимися при планетарной стадии. После затвердевания поверхности, выделяются газы первых вулканов и т. д. Развитие атмосферы показано на схеме (фиг. 2). С каждой

новой геохимической эрой появляются новые геосферы, новые процессы. Появляются новые источники пополнения атмосферы и несколько изменяется, под влиянием этого, характер дегазации, ранее существовавших.

тропосферу есть результат этого историкогеохимического процесса. Время начала обособления стратосферы и тропосферы может быть в настоящее время намечено только предположительно.



Фиг. 1. Развитие геосфер по геохимическим эрам.

Вулканы магмогенной эры, когда базальтовая кора только одела Землю и осадочных пород ещё не было, давали несколько иные газы, чем вулканы геосинклиналей последующих эр, когда увеличивающаяся толща вначале анорганогенных, а затем и органогенных осадков и пород, оказывала влияние на состав газов прорывающихся сквозь неё вулканов. В результате этого сложного и изменяющегося во времени процесса дегазации и создана современная газовая оболочка Земли. При этом, конечно, всё время происходило не только выделение газов в атмосферу, но и поглощение некоторых составных частей поверхностными геосферами. Так, например, количество углекислоты в атмосфере докембрия было больше [4]. Дифференциация атмосферы на ионосферу, стратосферу и

Подведем вкратце итоги. Развитие структуры нашей планеты можно разделить на семь этапов — стадий развития атома, или геохимических эр. Это космическая, планетарная, магмогенная, гипергенная, метаморфическая, биогенная и поногенная эры.

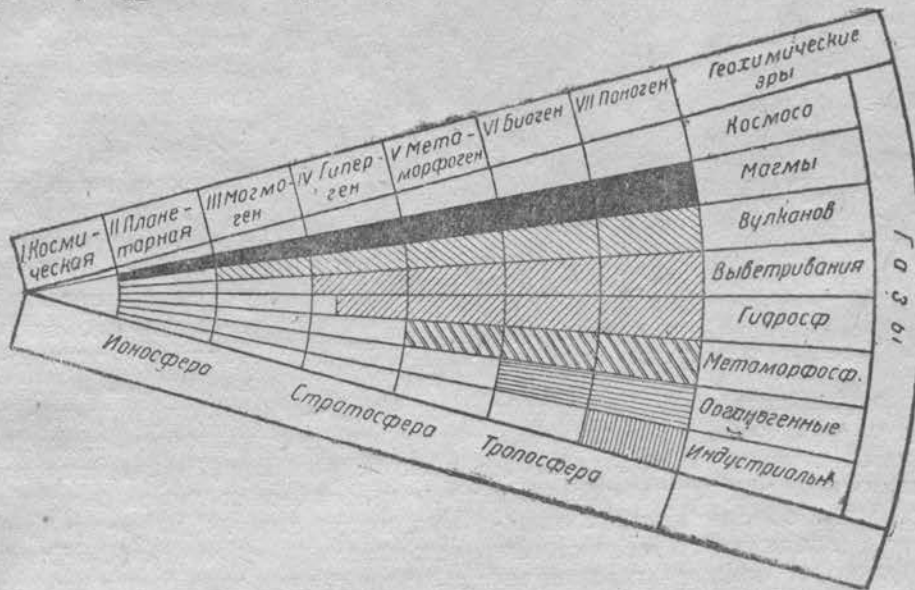
В магматическую эру на Земле появляется твёрдая кристаллическая кора, а в гипергене коллоиды. Это продукты выветривания и илы на дне водоёмов, образующие кору выветривания, или гипопедосферу и пелосферу. С гипергенной эры начинается процесс разрушения кристаллической земной коры и образование новых поверхностных геосфер, обуславливающих дисимметрию земного шара, а также образующихся в окружающей его газовой оболочке. Это гранитосфера, метаморфосфера, стратосфера, целосфера, гидросфера, ниж-

няя часть коры выветривания (гипопедосфера), педосфера, криосфера, стратисфера.

С биогенной эры процесс взаимопроникновения геосфер, ранее развитый в более слабой степени (фазовые геосферы), приобретает большое значение. Гидросфера сосредоточена, главным образом, на поверхности Земли, заполняя океанические и морские впадины и небольшие углубления и водотоки на суше. Однако, начиная с гипергенной эры, когда гидросфера и появляется, начинается постепенное проникновение воды в другие более молодые сферы. На суше вода проникает в кору выветривания, образуя грунтовые воды. Это способствует появлению, со време-

ника в кварцит), вода и здесь остаётся, либо проникает с поверхности. Вода циркулирует по трещинам в метаморфосфере и гранитосфере и т. д. Через определённый промежуток времени вода проникает во все поверхностные геосферы.

Помимо проникновения в той же фазе, мы наблюдаем её в газообразном состоянии в атмосфере, в твёрдом состоянии на поверхности лито- и гидросферы и даже в верхних зонах литосферы. Вода проникает в поверхностные геосферы, от пелосферы и педосферы до метаморфосферы и гранитосферы, за счёт вхождения в состав пород и минералов. Вода в жидком состоянии, после метаморфогена, проникает в биосферу и поно-



Фиг. 2. Развитие атмосферы по геохимическим эрам.

нем речных систем, так как до этого вода, выпадавшая в виде атмосферных осадков, быстро стекала в водоёмы. Инфильтрировавшие в рыхлые породы коры выветривания атмосферные воды, медленно продвигаясь, образуют водотоки. Вода проникает в илы на дне водоёмов, образуя воды пелосферы. Превращение пелосферы в стратисферу даёт впервые пластовые воды. При переходе стратисферы в метаморфосферу, если поры в пластах не уничтожены полностью (например, при превращении песча-

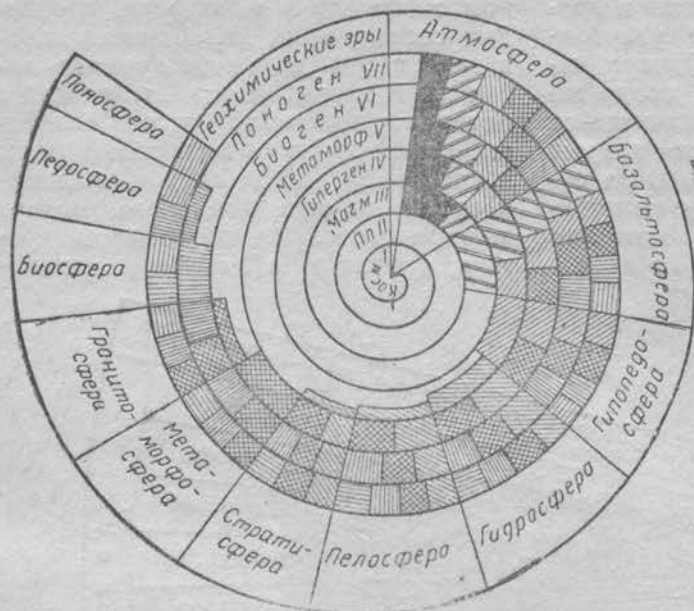
сферу. Можно говорить о полном взаимопроникновении вещества геосфер, либо в той же фазе, либо в виде других. Такое же явление наблюдается и для атмосферы (подземные атмосферы В. И. Вернадского [1]).

Менее нагляден этот процесс для гипопедосферы, пелосферы и других. Однако и здесь, в процессе развития структуры Земли, материал этих геосфер, в конечном итоге, проникает в различных фазах в другие геосферы.

Гранитосфера же не только сама образуется из материала других гео-

сфер, но и совершенно отчетливо в них проникает.

Более ярко этот процесс взаимопроникновения можно наблюдать для биосферы, распространившейся на ряд геосфер и образовавшей оболочку. То же явление мы сейчас наблюдаем для поносферы, границы которой больше биосферы.



Фиг. 3. Изменение состава геосфер по геохимическим эрам.

Взаимопроникновение вещества геосфер, с увеличением числа сфер, захваченных данной оболочкой, составляет основной закон развития геосфер. Этим обусловлено их изменение, под влиянием появившегося нового фактора. Каждая геохимическая эра, являющаяся новым этапом развития атома, отражается в структуре нашей планеты появлением новых геосфер и изменением состава других поверхностных геосфер, за счёт взаимопроникновения. Взаимопроникновение геосфер проявляется двояко. Для геосфер в жидкой, газообразной фазе, а также биогенной и труда, проникающие их части находятся в других геосферах по большей части достаточно обособленно и потому легко наблюдаемы. Для других геосфер проникновение происходит в виде продуктов разрушения (или с изменением фазы), которые,

диффузорно рассеиваясь, не имеют обособленного характера. Изменение состава геосфер, по мере развития структуры Земли, по геохимическим эрам, показано на графике (фиг. 3).

Историческое изучение геохимических процессов нами было показано на развитии геосфер. Однако историческая геохимия имеет не только теоретическое значение, но и практическое.

При изучении полезных ископаемых биогенного происхождения геологическая хронология, в настоящее время более детальная, была достаточна. Так выделяются эпохи углеобразования. Однако и здесь, для изучения химической стороны процесса, имеется достаточное поле деятельности. Если же мы обратимся к полезным ископаемым, концентрирующимся не только с участием организмов, то здесь особенно необходим историко-геохимический подход. По

мере развития структуры нашей планеты, для разных этапов её геохимического развития, изменяется характер генетических типов этих полезных ископаемых. Интересна в этом отношении работа Н. М. Страхова о гипергенных железных рудах [6].

Появление железнофосфатных месторождений с конца палеозоя хорошо увязывается с развитием органического мира в биогене и всё увеличивающейся ролью органогенных осадков в морях. Приуроченность же преобладающего большинства гипергенных железных руд к докембрию прекрасно иллюстрирует изменение состава осадков во времени. В позднем гипергене, метаморфогене и начале биогена, когда всё возрастающая роль осадочных пород в строении континентов всё же была незначительна, в море откладывалось как продукт разрушения основных кристаллических

пород — железо. Этому способствовали, вероятно, и обильные эффузии и интрузии добиогена, тоже более основного характера. Благоприятная обстановка для выветривания на континентах, лишённых растительного покрова, большое содержание CO_2 в атмосфере и океанах докембрия, меньшая расчленённость рельефа земной поверхности и ряд других факторов этому также способствовали.

На изменение количества CO_2 , растворённого в водах докембрийских морей, обратил внимание А. Виноградов [4]. Это нашло свое отражение в характере скелетов беспозвоночных.

Историческая геохимия находится еще в стадии накопления фактов. Рассмотрение новых вопросов и пересмотр уже известных фактов, в свете геохимического развития нашей планеты, даст новые данные. Это позволит углубить наши знания в области исторической геохимии. Геохимические эры будут еще разделены на периоды и эпохи. Историческое

рассмотрение развития геохимических процессов не только обогатит теорию, но и откроет новую страницу в области геохимии полезных ископаемых.

Литература

- [1] В. И. Вернадский. История минералов земной коры, т. II. История природных вод. В. I — 1933, в. II — 1934, в. III — 1936. [2] В. И. Вернадский. Проблемы биогеохимии. I. Значение биогеохимии для познания биосферы. М.—Л. 1935. [3] В. И. Вернадский. Проблемы биогеохимии. II. О коренном материально-энергетическом отличии живых и косных естественных тел биосферы. М.—Л. 1939. [4] А. П. Виноградов. О причине отсутствия известковых (из CaCO_3) скелетов у докембрийских беспозвоночных. Докл. АН. 1940, т. XXVII, № 3, стр. 230. [5] E. Le Roy. L'exigence idéaliste et le fait d'évolution. P., 1937, p. 196. [6] Н. М. Страхов. Историко-геологические закономерности формирования гипергенных железных руд. Изв. АН, сер. геол., 1940, в. 3, стр. 3. [7] А. Е. Ферсман. История атома в истории Земли. Природа, № 4, 1929, стр. 294. [8] А. Е. Ферсман. Законы эволюции в химии земной коры. Природа, № 3, 1930, стр. 267. [9] А. Е. Ферсман. Геохимия, т. II, 1934, стр. 91, 104.