

Ю.Д. КУЗЬМИН, В.Г. САХНО

Роль воды в эволюции Земли и планет земной группы

Авторами сделана попытка концептуально представить свое видение последовательности процессов образования подземной гидросферы и ее роль в эволюции Земли в свете новых представлений образования воды в Солнечной системе. Подземная гидросфера играет основную роль в преобразовании различных видов энергии во внутреннее тепло, в образовании которого ведущую роль играют экзотермические реакции в водных растворах земной коры и тепло, наведенное пульсациями магнитного поля Земли. Тепло реакций и наведенное тепло в подземной гидросфере аккумулируются до высоких значений. Все процессы на Земле и планетах земной группы определяются солнечным нагревом поверхностного и подповерхностного слоев планет, содержащих воду в разных агрегатных состояниях. В результате этого мы наблюдаем горячие планеты Меркурий и Венеру с диссипированной водой, Марс – с водой в виде льда в подповерхностном слое. Уникальность Земли заключается в том, что вода на ней находится одновременно в жидком, газообразном и твердом состояниях.

Ключевые слова: вода, Земля, планеты, реакции, процессы, внутреннее тепло.

The role of water in the evolution of the Earth and other terrestrial planets. Yu.D. KUZMIN (Kamchatka Branch of the Federal Research Center “Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences”, Petropavlovsk-Kamchatsky), V.G. SAKHNO (Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

The authors offer their understanding of a sequence of processes of underground hydrosphere formation and its contribution to the Earth's evolution in the light of new paradigm of water formation in the Solar system. The underground hydrosphere plays a major role in conversion of various energies into internal heat. The heat resulted from exothermal reactions in water solutions of the Earth's crust and that induced by geomagnetic pulsations within the Earth's magnetosphere accumulated to high values. All processes on the Earth and other terrestrial planets are determined by the solar heating of their surface and subsurface layers where water is in different aggregate states. As a result we observe the hot planets Mercury and Venus with the dissipated state of water and the planet Mars with the solid state of water in the form of ice in its subsurface layer. The uniqueness of the Earth is that the water on it is in liquid, gaseous and solid states concurrently.

Key words: water, Earth, planets, reactions, processes, internal heat.

Посвящается моему единомышленнику
члену-корреспонденту РАН
Владимиру Георгиевичу Сахно.
Ю.Д. Кузьмин

Введение

Среди твердых планет Солнечной системы Земля выделяется своим составом, наличием атмосферы, водной оболочки и тектоновулканической деятельностью. Особый

*КУЗЬМИН Юрий Дмитриевич – научный сотрудник Камчатского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», Петропавловск-Камчатский), САХНО Владимир Георгиевич (1932–2020) – член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: kuzy@emsd.ru

интерес вызывает наличие на Земле водной оболочки. Вода – удивительное вещество не только на планете Земля, но и на земных планетах Солнечной системы. В природе вода – химическое соединение (H_2O), почти все физико-химические свойства которого являются исключением относительно других веществ. И чем больше человек узнает о свойствах воды, тем больше убеждается в их неисчерпаемости.

В данной работе мы попытались концептуально изложить свой взгляд на происхождение воды на Земле, планетах земной группы и их эволюцию с участием воды. В результате рассмотрения этого вопроса нами было предложено свое видение происхождения воды в Солнечной системе [18] (гипотеза 2), отличное от общепринятого планетного происхождения воды за счет дегидратации метеоритно-кометного вещества мантии под действием высоких температур и последующей дегазации на поверхность [7] (гипотеза 1). Рассмотрение данных гипотез должно привести к пониманию логически последовательных процессов образования водных оболочек и предполагаемых этапов развития Земли и планет земной группы, определяемых влиянием Солнца на разноудаленных от него орбитах.

Наша гипотеза 2 о происхождении воды на планетах земной группы базируется на экспериментах и разработанной отечественными и иностранными учеными теории взаимодействия водорода с кислородом, а также на изотопных исследованиях воды в разных средах. Предложенная нами гипотеза 2 основана на изначально холодном образовании планет Солнечной системы, в том числе планет земной группы, на которых последующий нагрев твердых поверхностей Солнцем способствовал образованию воды и развитию геологических процессов, характерных для каждой планеты. Предположения, высказанные в этой гипотезе, согласуются с взглядами В.И. Вернадского: «Важен основной вывод. Наша планета должна быть рассматриваема в Космосе как тело холодное, а не тело высокой температуры, как этому учат в геологии» [5, с. 105].

Механизмы поступления воды на поверхность Земли, рассматриваемые в гипотезах 1 и 2, заставляют по-разному оценивать возраст воды и земной коры, процессы континентализации или океанизации, использование тех или иных гипотез для объяснения эволюции Земли и планет земной группы, во многих науках о Земле и планетологии являющихся дискуссионными.

Происхождение воды и водной оболочки планеты

Два основных фактора определяют геологическую и биологическую жизнь на Земле: тепло и вода. Вода с ее уникальными свойствами создает многообразие явлений и процессов в эволюции живой и неживой природы на планете. Вода не только является составной частью геологических и биологических веществ, но и принимает активное участие в их эволюции, преобразуя в другие вещества. Естественно, возникают вопросы: как появилась вода на Земле и в Солнечной системе, какую роль она играет в геологической эволюции Земли? Ответ на них определил В.И. Вернадский: «... мы должны теперь держать в голове те космогонические представления и учитывать те гипотезы о значении воды, которые допускают научную проверку, позволяют искать факты ее истории, не учитываемые в современном – неполном – представлении о ее земной роли» [4, с. 33]. Но необходимо отметить, что ни геологи, ни геофизики не обратили внимания на работы Н.Н. Семенова, которым совместно с отечественными и иностранными коллегами экспериментально показан механизм и разработана теория цепных и тепловых реакций образования воды из водорода и кислорода [28, 29]. Эти работы, при правильной их интерпретации, дают представление о механизме, среде и условиях образования воды. Для того чтобы привязать эти эксперименты к происхождению воды на Земле, необходимо было отказаться от существующих гипотез происхождения Солнечной системы и ее планет из газопылевого облака за счет его сжатия. В межзвездной среде из-за очень малой

плотности космического вещества без внешних воздействий это сделать невозможно. Поэтому нужно было предложить новый механизм образования Солнца и планет Солнечной системы, который смог бы создать среду и условия, подобные существующим в экспериментах Н.Н. Семенова и его коллег. На основании работ Н.Н. Семенова, В.И. Ферронского и их коллег в нашей стране и за рубежом, а также данных, полученных с космических летательных аппаратов, мы предложили свое видение происхождения планет Солнечной системы и воды в виде гипотезы [18].

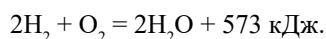
Основные положения данной гипотезы совпадают с взглядами В.И. Вернадского о Земле:

«1. Все представления об огненно-жидком и расплавленном состоянии неверны и от них следует отказаться.

2. Геологические процессы и явления, наблюдаемые в земной коре, не могут быть перенесены на глубокие части планеты без поправок, так как вещество ниже земной коры находится в низкотемпературных условиях в состоянии химической инертности. Земная кора в известной мере является самостоятельной самоорганизующейся системой.

3. В земной коре наблюдается резкая неоднородность ее вещества, и в ней же проявляется максимальная земная температура, которая понижается к центру планеты. За пределами ЗК в глубине Земли возможна и очень высокая, и очень низкая температура. Это область гипотез и схем» [5, с. 105].

Опытами ученых Г. Кавендиш, А. Лавуазье, А. Гумбольда, Гей-Люсака была получена формула воды (H_2O) и рассчитан ее молекулярный вес, равный 18. Было установлено, что в природе вода – это устойчивое бинарное химическое соединение водорода с кислородом. При определенных термодинамических условиях происходит экзотермическая реакция образования воды с большим выделением тепла:



Это окислительно-восстановительная химическая реакция, где вода является одновременно окислителем и восстановителем. Молекула воды состоит из 11,19 % водорода и 88,8 % кислорода. Химические и физические свойства воды определяются ее составом и строением. Так, температура замерзания воды равна 0 °С, температура кипения 100 °С, критическая точка воды, при которой она может существовать только в газовой фазе, соответствует температуре 374 °С и давлению 218,5 атм. Но необходимо заострить внимание на таком параметре воды, как термическая диссоциация, т.е. температурное разложение воды на водород и кислород. По отношению к нагреванию вода – очень устойчивое соединение. Термическая диссоциация протекает с поглощением теплоты. Однако даже при температуре 2000 °С степень термической диссоциации воды не превышает 2 %, т.е. равновесие между водяным паром и продуктами его диссоциации – водородом и кислородом – все еще остается сдвинутым в сторону водяного пара. При охлаждении же ниже 1000 °С равновесие практически полностью сдвигается в этом направлении [30, с. 208]. Также вода разлагается на водород и кислород под действием ультрафиолетового излучения (фотохимическая диссоциация) и электрического тока. На Земле вода находится в газообразном, жидком и твердом состояниях. В жидком состоянии вода – прозрачное, бесцветное, текучее вещество без запаха, она принимает любую форму, в которую ее налить, растворяет многие вещества, может замерзать, испаряться, расширяться, сжиматься и имеет самую высокую из земных веществ теплоемкость. По своим свойствам вода – изотропное вещество.

Более подробно вопросы образования воды из водорода и кислорода были рассмотрены в начале XX в. в экспериментах отечественных и иностранных ученых, что позволило создать теорию теплового и цепного горения. За эти работы Н.Н. Семенову и его коллеге из Великобритании С.Н. Хиншелвуду присуждена Нобелевская премия по химии (1956 г.). Информация, полученная в экспериментах по синтезу воды из водорода и кислорода, дает основание для возникновения вопроса: откуда взялась вода в Солнечной системе, и если

с наличием поверхностного нагрева планет Солнцем в Солнечной системе все более или менее ясно, то вопрос о происхождении воды и источнике внутреннего тепла Земли остается дискуссионным.

Общепринятой считается гипотеза происхождения воды в атмосфере и гидросфере Земли за счет дегидратации мантии, состоящей из вещества метеоритов и комет, при высоких температурах и последующей дегазации водяных паров на поверхность Земли (гипотеза 1). «Почти сто лет тому назад А. Добре пришла счастливая мысль об аналогичности состава метеоритов и оболочек Земли. Эта идея в науке оказалась исключительно плодотворной. Я вполне разделяю эту точку зрения. Благодаря изотопному анализу свинца и другим радиоактивным методам удалось установить, что возраст вещества Земли и возраст вещества метеоритов очень близки и составляют около 5×10^9 лет», – отмечал А.П. Виноградов [7]. Подобной точки зрения придерживаются и в настоящее время [42]. Но физико-математические расчеты категорически отвергают возможность образования Земли из метеоритов и комет [24].

Изотопные отношения водорода и кислорода являются единственными характеристиками вещественного состава природных вод, позволяющими изучать историю гидросферы прямыми методами. Работы отечественных и зарубежных исследователей по изотопии воды [32] показали, что вода на Земле имеет метеорное, т.е. атмофильное образование (поверхностное), а не ювенильное (земное) происхождение, т.е. в недрах планеты, как считали и считают геологи и геофизики, согласно общепринятой метеоритно-кометной гипотезе. Так, в одной из работ отмечается: «Экспериментальные данные об изотопном составе пород и воды в свободной и связанной форме для образцов, полученных при морском глубоководном бурении и при бурении сверхглубоких скважин на континентах, свидетельствуют о решающей роли метеорных вод в формировании исследованных пород. Каких-либо вещественных доказательств выхода и роли ювенильных вод в этих процессах за исследованное геологическое время не обнаружено» [32, с. 246]. На основании указанных работ сделан тот вывод, что наблюдаемые изотопные отношения водорода и кислорода воды не согласуются с дегазационной гипотезой происхождения газовой оболочки Земли [33, с. 4].

Полученная информация по изотопии воды согласуется с данными Н.Н. Семенова и его коллег [28, с. 155–213] и предполагает другие подходы в вопросах, связанных с происхождением воды на Земле и участием ее в земных процессах.

В работах [28, 29] показано, что вода образуется при температурах более $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлениях, составляющих первые миллиметры ртутного столба. Следовательно, в низкотемпературных и сверхразряженных межзвездных и межпланетных космических средах вода образовываться не может.

Результаты экспериментов и новая информация о планетах Солнечной системы, полученная с помощью космических летательных аппаратов, заставляют задуматься и искать иные подходы к объяснению образования уникального вещества Солнечной системы – воды и внутреннего тепла планеты. Гипотезу о происхождении планет Солнечной системы и воды на Земле и планетах земной группы мы представили в работе [18] (гипотеза 2). В основе этой гипотезы лежат многочисленные работы, связанные с физико-химическими экспериментами и изотопными исследованиями воды в водосодержащих горных породах Земли, а не гипотетические представления о дегидратации мантии за счет высоких температур неясного происхождения [7]. Таким образом, гипотеза 2 позволяет уйти от метеоритно-кометного происхождения воды на планете Земля и планетах земной группы, что согласуется с данными работы [24]. В гипотезе 2 [18] использовались предположения Е.М. Трунаева¹ и Н.А. Шило [36] о том, что образование Солнечной системы началось в результате взрыва сверхновой и выброшенного газопылевого вещества в виде вращающегося спиралевидного образования – космического вихря. В результате момента

¹ http://trunaev.narod.ru/main_ru.htm (дата обращения: 20.06.2020).

импульса движения, полученного от взрыва сверхновой, в этом вихре первого рода за счет центробежной силы начала формироваться растущая вращающаяся центральная газовая масса. Рост этой массы увеличивал гравитационную силу притяжения, которая последовательно вытягивала из газопылевой протоструи частицы, начиная с водорода, гелия и далее более тяжелых элементов – продуктов взрыва сверхновой. Это привело к сепарации частиц в протоструе по массам. Основная масса газовых частиц протоспираль была стянута в центральную вращающуюся массу, а пылевые частицы образовали сегмент протоспираль, в основном состоящий из них. При достижении центральной массой критического значения произошел коллапс с образованием новой звезды – Солнца. Солнце сконцентрировало в себе 99,8 % массы протоспираль. Ударная волна взрыва, образовавшего Солнце, разорвала оставшуюся часть протоспираль на вращающиеся по разнудаленным орбитам вихри – будущие планеты Солнечной системы с определенными моментами импульса движения, которые определили скорости движения планет по орбитам и скорости их вращения вокруг своих осей. Разрывы пылевого сегмента протоструи образовали вихри вращения пылевых частиц, из которых образовались планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс). Из оставшегося газового сегмента протоструи, пространственно находящегося за пылевым сегментом, образовались массивные газовые планеты Солнечной системы (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). Таким образом, каждый образовавшийся вихрь будет двигаться по своей орбите с определенной скоростью вращения вокруг Солнца и одновременным односторонним вращением вокруг собственных осей. Вышеизложенные предположения не противоречат данным о параметрах планет земной группы, представленным в таблице [34, с. 51].

Параметры планет земной группы [34]

Параметр	Меркурий	Венера	Земля	Марс
Среднее расстояние от Солнца, а.е.	0,387	0,723	1,00	1,524
Масса относительно Земли (в единицах земной массы)	0,055	0,816	1,00	0,107
Средняя плотность, г/см ³	5,4	5,2	5,5	3,9
Скорость движения по орбите, км/с	47,9	35,03	29,79	24,4
Период вращения вокруг оси	58,8 сут	24,3 сут	25 ч 56 мин	24 ч 37 мин
Ускорение силы тяжести на экваторе, см/с ²	370	887	981	371
Скорость убегания, км/с	4,3	10,4	11,2	5,0
Солнечная постоянная, Вт/м ²	13600	2600	1360	586
Дневная / ночная температура* планет, °С	+427 / -173	+460 / -173	70,7 / -91,2	+20 / -140
Атмосферное давление у поверхности, атм	<10-10	90	1,00	0,066
Напряженность магнитного поля, А/м	0,7	<0,05	50	0,052
Радиационные пояса	Нет	Нет	Есть	Нет

* Температура на планетах Солнечной системы. – <https://zen.yandex.ru> (дата обращения: 15.04.2020).

В работе [21] приведены расчетные данные диссипации атомов некоторых газов. Так, на высоте 550 км время жизни для H₂ составляет 50 лет, для He – 10⁷ лет, для атомарного кислорода – 10²⁹ лет, для азота и углекислого газа – 10⁵⁰ лет. Исходя из этих данных можно видеть, что за время существования Земли с нее диссипировали только водород и гелий; атомы и молекулы других элементов, тем более воды, диссипировать с Земли не могут.

Холодные поверхности образовавшихся планет нагревались за счет солнечного излучения, создавая температурные условия, необходимые для активации газофазных реакций горения водорода с кислородом с образованием воды, которая создала высокотемпературные водонасыщенные атмосферы. Остывание атмосферы привело к конденсации и выпадению воды в виде осадков, которые образовали горячую пресную водную оболочку Земли и планет земной группы. По мере исчерпания водорода и кислорода в химических

реакциях планетного пространства и остывания поверхности планет образование воды прекратилось, прекратился и рост водных оболочек. Это предположение согласуется с постулатом В.И. Вернадского: «Масса воды есть характерная постоянная нашей планеты» [5, с. 125]. Таким образом, на Земле образовалась огромная масса пресной воды, покрывающая три четверти ее поверхности. Как отмечал В.И. Вернадский, «образование сплошной массы воды весом 1.6×10^{18} тонн необъяснимо ни одной из геогенических теорий, но существовало в тех же размерах с среднеархейской эры, а вероятно, геологически искони» [5, с. 37].

Образование подземной гидросферы

Образование пресной водной оболочки на Земле и планетах земной группы сопровождалось ее распределением на неравномерно остывающих поверхностях с образованием поднятий и опусканий, а также трещин и разломов. По трещинам и разломам пресная вода проникала в подкоровый слой, (что подтвердилось в процессе бурения Саатлинской сверхглубокой скважины [39]), создавая замкнутые аномальные термодинамические системы водонасыщенных объемов вещества планет земной группы. В этих системах за счет тепла остывающего поверхностного слоя происходили разнообразные химические реакции взаимодействия первичного безводного вещества планеты с водой, в том числе экзотермические реакции, в которых при взаимодействии воды со щелочами и щелочноземельными металлами выделялось тепло. Это тепло аккумулировалось в подкоровом слое и сохранялось длительное время, способствуя развитию тектоновулканических процессов, поверхностное проявление которых меняло рельеф суши и дна водной оболочки. Тектоновулканические процессы контролируются сейсмичностью, которая указывает на области деформирования и разуплотнения геологической среды, по которым вода последовательно проникает в глубины планеты, образуя растущую подземную водную оболочку земной коры – подземную гидросферу. Вода в подземной гидросфере благодаря своим исключительным свойствам активно участвует во всех геохимических, геофизических и термодинамических процессах, преобразуя первичное вещество планеты, изменяя его состав и структуру. В результате этих процессов мы видим громадное разнообразие горных пород и минералов, что и отмечал В.И. Вернадский: «Природная вода отвечает большой группе минералов, находящихся в нескольких физических состояниях. В эту группу уже сейчас входит более 480 разных минералов, и, должно быть, все число ее видов достигнет, в конце концов, 1000–1500 или близкой цифры» [4, с. 34]. Одновременно вода, проникая вглубь Земли, вступала в разнообразные физико-химические взаимодействия с веществом планеты, в результате чего произошла минерализация изначально пресной воды с образованием большого числа типов минерализованных природных вод Земли. Таким образом, со временем кроме поверхностной водной оболочки образовалась подкоровая, для Земли – подземная водная оболочка. Водобмен между подземной и поверхностной водными системами привел к минерализации поверхностной водной оболочки с образованием морей и океанов разной солености. Процесс поступления воды с поверхности продолжается и в настоящее время, вследствие чего увеличивается объем минерализованной подземной гидросферы и уменьшается объем пресной воды на поверхности планеты. Здесь необходимо отметить особую активную роль подземной гидросферы в формировании сложнейшей и самой динамичной, самодостаточной и самоорганизующейся геосферы Земли – земной коры, которая является связующей оболочкой между планетой и Космосом. В подземной гидросфере земной коры благодаря минерализованной электропроводящей воде происходит взаимодействие с электромагнитной энергией переменного магнитного поля Земли, модулируемого Солнцем, с преобразованием ее в тепло, которое по мере накопления активизирует геохимические, геофизические и термодинамические процессы, что приводит к интенсификации тектонических, вулканических и других процессов. Возможно,

подобные процессы происходили и на других планетах земной группы в эпохи, когда вода на них была в жидком состоянии.

Относительно подземной гидросферы В.И. Вернадский писал: «Вода, образующая сплошь одну из земных геосфер – гидросферу, определяет всю химию земной коры в доступной нашему непосредственному изучению ее области. Химические реакции идут, главным образом, в водных растворах, жидких или парообразных, и свойства растворов обуславливают, в главной мере, генезис вадозных и фреатических минералов. Они же определяют среду жизни. Количество воды в земной коре исчисляется многими процентами – больше 12–15 % веса последней в пределах 16 км» [4, с. 19]. Водная оболочка Земли образует единую сплошную всепроникающую сферу планеты – гидросферу, под которой понимают совокупность всех вод Земли. Объем воды на Земле составляет примерно $1,5 \times 10^9$ км³. Если этот объем равномерно распределить на поверхности Земли, то слой воды составил бы 3795 м. Общая масса воды на планете равна примерно $1,6 \times 10^{18}$ т. Следовательно, масса гидросферы в 275 раз больше массы атмосферы и в 4000 раз меньше массы всей планеты.

Согласно представлениям В.Ф. Дерпгольца [11], поверхностные воды составляют около 58 %, а подземные – около 42 % всей массы гидросферы. В составе поверхностных вод основную массу составляют соленые воды Мирового океана (97 %) и очень малую долю – пресная вода, заключенная во льдах (2 %), реках и озерах (<1 %). Среди подземных вод обращает на себя внимание соотношение между свободной (гравитационной) и связанной водой: связанной воды почти в 3,8 раза больше, чем свободной (79 % и 21 % соответственно). Основная масса связанной воды заключена в земной коре континентального типа. Интенсивность водообмена в подземной гидросфере в процессе эволюции Земли определялась термодинамическими процессами и вторичным минералообразованием в земной коре и верхней мантии, что приводило к уменьшению проницаемости земной коры для различных растворов и газов, а также к увеличению плотности и мощности земной коры. При этом важной особенностью подземной гидросферы является то, что она улавливает и аккумулирует все газовые компоненты дегазации Земли независимо от их генетической принадлежности. Аномально высокая теплоемкость воды превращает наземную и подземную гидросферы в гигантские термостаты определенного вида. Наземная гидросфера и водяной пар сглаживают суточные колебания температуры воздуха, а подземная гидросфера, как термостат, длительное время сохраняет внутреннее тепло земной коры и частично верхней мантии.

По представлениям В.И. Вернадского [4, с. 36], «в ЗК до глубины 20 км вода является чрезвычайно распространенным телом, она не спускается ниже 20 % по весу, и едва можно видеть признаки уменьшения ее количества для дальнейших глубоких частей ЗК примерно до 60 км от уровня Океана. Она составляет и здесь несколько процентов по весу, едва ли серьезно отличаясь от 8%». Эти представления позволяют предполагать, что вода в земную кору попадает с поверхности, а не из глубины. Подземная гидросфера очень динамична и чувствительна к изменениям среды и внешним воздействиям, обладает значительной связанностью, что позволяет регистрировать возмущения на значительном удалении от их источника. Необходимо учитывать, что в свободном состоянии жидкость – вещество изотропное, а твердое тело – анизотропное. Наличие в подземной гидросфере воды с растворенными в ней газами, заполняющими трещинно-поровое пространство горных пород, позволяет рассматривать водонасыщенную толщу Земли в виде каркасно-флюидитных систем [26]. В этих системах каркас и флюидиты, к которым автор относит кроме флюидов (подземные воды, газы, нефти) флюидизированные текучие среды коры и верхней мантии, связанные по свойствам взаимопереходами с жидкими массами (расплавами, кристаллогидратами) [26, с. 9], образуют свои динамические системы. Данные системы обладают определенными взаимонезависимыми пределами, т.е. действующая система давлений состоит из двух независимых частей. Одна передается по скелету, она более консервативна и не может дать быстрых изменений давлений. Другая, создаваемая за

счет давления подвижных флюидов (в основном воды), является более мобильной и создает те изменения давления, которые могут быть ключевыми в передаче напряжений деформаций от возмущающего источника геологической среды в подземной гидросфере по закону Паскаля. Таким образом, в каркасно-флюидной системе флюиды, ведущая роль в которых отводится воде, могут быть представлены рабочим телом гидрогеодинамической системы, которое реагирует на внешние и внутренние возмущения с передачей давления, изменяющегося как во времени, так и в пространстве. Основным и важнейшим признаком каркасно-флюидных динамических систем является их аномально высокая флюидопродоводимость, обусловленная процессами разуплотнения пород, и, следовательно, флюидонасыщенность, определяющая электропроводные и сейсмические свойства среды [13].

Такие системы, представленные планетарным и региональными гидрогеодеформационными полями [3] подземной гидросферы, имеют важное свойство, которое заключается в отражении напряженного состояния недр на всю мощность насыщенного водой геологического разреза. В работе [27] предложена модель, в которой земная кора представляет собой замкнутый объем геологической среды, состоящий из блоково-иерархических образований, в которых межблочные прослойки заполнены флюидом, в основном водой. При внешнем воздействии на флюид теплом или давлением в прослойках происходят преобразования, а также накопление внутренней энергии, которое сопровождается увеличением межблочного объемного давления. Это приводит к изменению взаимодействия отдельностей друг с другом, их деформированию и изменению свойств, как отдельностей, так и всей системы в целом, что активизирует тектонические и вулканические процессы, сопровождаемые сейсмичностью. Подземные воды постоянно находятся под влиянием космических и геофизических воздействий. Реакция подземных вод на эти воздействия будет проявляться в виде отклика, который можно регистрировать на поверхности планеты соответствующими приборами. Таким образом, в подземной гидросфере вода является рабочим телом для всех гидродинамических процессов, связанных с тектоническими, вулканическими и другими процессами на Земле и, возможно, на планетах земной группы. Ее гидрогеодинамические отклики на эти воздействия можно представить в виде движущей силы, которая участвует во всех геологических и геофизических процессах в земной коре и, возможно, верхней мантии.

Внутреннее тепло планеты

Проникновение воды вглубь земной коры по трещинам и разломам происходит с активным взаимодействием пресной воды с первородным веществом планеты. Основой этого вещества были пылевые компоненты протоспирали, образованные взрывом сверхновой. Это вещество кроме силикатов, железа, магния, алюминия, кислорода и других тяжелых элементов содержит щелочи и щелочноземельные металлы. В результате этих взаимодействий, возможно, происходили и происходят экзотермические реакции с выделением тепла. Это тепло в замкнутых теплоизолированных средах аккумулировалось и сохранялось [8, 10, 15]. При этом вода, насыщаясь продуктами химических и физических взаимодействий с веществом, из первично ультрапресной становилась минерализованной. Минерализованные водные растворы становились электропроводящими. Таковыми являются и жидкие магматические расплавы. В электропроводящем веществе за счет токов, наведенных геомагнитными пульсациями внешнего магнитного поля Земли [16], электромагнитная энергия преобразовывалась в тепло. Это тепло (совместно с теплом экзотермических химических реакций) сохранялось и аккумулировалось в водонасыщенных геологических средах земной коры и верхней мантии, участвующих в этих процессах, создавая аномально высокие температуры, способные образовывать магматические очаги и астенолиты в земной коре и, возможно, в верхней мантии. Таким образом, по нашим представлениям, это внутреннее тепло образуется и аккумулируется в водонасыщенных

геологических средах планеты, приуроченных к разломам, что согласуется с данными работы [38]. В этой статье показано, что в земных недрах в присутствии воды химические реакции с объемным эффектом порядка 0,001 и вариацией температуры порядка $n \cdot 10$ °C вызывают в слабопроницаемых породах изменение порового давления на 100–1000 бар. Этот диапазон давлений совпадает с диапазоном типичных значений тектонических напряжений, действующих в континентальной коре, и перекрывает верхний предел прочности пород на разрыв, который для главных типов пород не превышает 200–300 бар. Таким образом, в результате вещественных превращений и температурных изменений в системе вода–порода развиваются объемные деформации, которые приводят к образованию трещин гидроразрыва. Первоначально закрытая система раскрывается, и в ней возбуждаются конвективные токи водного флюида. Данный вывод позволяет сделать предположение об идущей вглубь планет последовательности процессов и связанного с ней преобразования вещества.

На основании сказанного можно представить полный цикл круговорота воды в недрах Земли и, возможно, планетах земной группы, состоящий из двух этапов. Первый этап включает метеорное происхождение воды на поверхностях горячих планет; проникновение воды вглубь планеты с образованием и ростом внутреннего тепла, связанного с преобразованием первородного вещества планеты; рост аномально высокого внутреннего объемного давления, который вызывает нарушение сплошности твердого вещества, взаимодействующего с водой, благодаря чему в породах возникает или усиливается конвекция водного флюида с растворенными газами, стремящегося охватить весь объем исходных «монолитных» блоков. Этот этап последовательностей соответствует гипотезе 2. Второй этап, связанный с конвекцией и дегазацией на поверхности планет разнотемпературных водных флюидов с растворенными в них глубинными газами, соответствует общепринятой гипотезе 1. Следовательно, мы наблюдаем полный замкнутый цикл круговорота воды в природе с момента ее образования, что объединяет гипотезу 1 с гипотезой 2.

Ранее предлагались гипотезы происхождения внутреннего тепла Земли, в основной из которых предполагалось, что это тепло радиоактивного распада. Такой точки зрения придерживались и геологи, и геофизики, в том числе В.И. Вернадский и А.П. Виноградов. Но как отмечал еще в 1949 г. Л.К. Грейтон [10, с. 93], «лишь два издавна известных источника тепла и один относительно недавно известный заслуживают обсуждения на страницах современных книг по геологии и вулканологии – это радиоактивность, экзотермические реакции и «внутреннее тепло» нашей планеты». По поводу радиоактивного нагревания он отмечал: «Нельзя забыть разочарования, постигшего ученых, после того как новая, обещающая концепция местного нагревания путем радиоактивного распада, предложенная для объяснения вулканизма Деттоном всего только в 1906 г., при количественном испытании быстро потерпела крах». Сейсмолог Г.П. Горшков [9] считал, что тепловой режим Земли, гравитация и ротационные силы, вероятно, являются главными источниками возбуждения эндогенной энергии Земли, но при этом отмечал, со ссылкой на В.И. Вернадского, что основы сейсмологии заложены в геохимии. Рассматривая эти предположения, необходимо отметить, что гравитация и ротация связаны с перемещением масс вещества, а не с генерацией тепла, а в геохимии тепло может генерироваться за счет экзотермических химических реакций.

Возраст происхождения воды и гидросферы

При рассмотрении процессов происхождения водной оболочки и земной коры возникает вопрос об их возрасте. Возраст воды и океанов прямыми методами определить невозможно, но можно предположить, что он составляет около 4 млрд лет. Обратимся к результатам сверхглубокого бурения Кольской скважины [14], где неожиданным и принципиально новым оказалось наличие на глубине 9–12 км в архейских породах возрастом

2,8 млрд лет высокопористых трещиноватых пород, насыщенных подземными сильно минерализованными водами. Раньше считали, что такое возможно лишь на значительно меньших глубинах. В открытом геологами в 2001 г. зеленокаменном поясе гор на севере Канады (Квебек), представленном вулканическими породами, были обнаружены вкрапленники цирконов возрастом 3,66 млрд лет, а возраст основных пород, по химическому составу похожих на амфиболы, определен в 4,28 млрд лет. Если считать, что эти оценки относятся к моменту образования пород, то получается, что земная кора начала формироваться уже через 300 млн лет после рождения Солнечной системы и самой Земли. Расчетный возраст Земли оценивается в 4,5–4,6 млрд лет. Авторы открытия высказали предположение о возможном присутствии воды при формировании данных пород [40]. Исходя из этих данных, можно сделать предположение, что Океан и земная кора начали образовываться одновременно, примерно 300 млн. лет спустя после возникновения Земли.

Однако существует и другая точка зрения относительно возраста Океана. В работе [23, с. 9] автор отмечает, что история планетарной воды, проблемы образования и эволюции Мирового океана в истории Земли стали возможными после того, как были накоплены данные о возрасте и структурах океанских осадков в ходе международной программы глубоководного бурения с судна «Гломар Челленджер». Данная программа изначально разрабатывалась под идею сбора доказательств в пользу «Новой глобальной тектоники». Было пробурено более 6000 скважин в Индийском, Атлантическом и Тихом океанах. Результаты этой программы помогли восстановить палеогеографические обстановки в позднемезозойское время (65–165 млн л.н.), что позволило установить два важнейших факта: отсутствие на дне океанов осадков древнее 165 млн л.н. и наличие древних мелководных отложений на глубинах 1000–6000 м. На основании указанных данных сделан вывод о том, что океаны являются необычайно молодыми геологическими образованиями и что они возникли на месте погружившейся в океан суши или мелководных морских бассейнов. Исходя из данных глубоководного бурения В.В. Орленок [23, с. 10] отмечает: «Стало ясно, что естествоиспытатели «просмотрели» необычное явление и важнейший рубеж в истории планеты на границе между двумя самыми яркими геологическими эрами – мезозойской и кайнозойской – начало океанизации Земли. Установление этого ранее неизвестного явления как одного из фундаментальных свойств планеты создало предпосылки для новой внутренне непротиворечивой теории Земли и планет». Автор предложенной гипотезы считает [23, с. 71], что «история Земли разделена на 2 этапа – доокеанический, включающий криптозой, большую часть фанерозоя, и период океанизации – начавшийся в конце мезозоя (60 млн л.н.) и продолжающийся с наивысшей скоростью в настоящее время. Причина такого разделения определяется постепенным характером накопления выделившейся из недр на земную поверхность свободной воды». Из этого следует, что «Мировой океан – действительно чрезвычайно молодое образование и не дается планете изначально. Он появляется в результате длительной и долгой эволюции протовещества, в результате постепенного накопления выносимой из недр планеты свободной воды» [23, с. 10]. Из расчетов автора данной гипотезы получается, что продолжительность периода океанизации на Земле составляет 150–160 млн лет. Данные предположения об океанизации Земли сделаны исходя из гипотезы 1.

Материки и океанические впадины являются основными элементами земной поверхности, которые в результате деятельности тектонических и вулканических процессов медленно перемещаются, поднимаются и опускаются, вечно колеблются, что приводит к непрерывным поверхностным перераспределениям масс вещества Земли между океанами и материками, а также росту подземной гидросферы. Следовательно, в земной коре с ее подземной гидросферой поддерживается не статическое, а динамическое равновесие, доказательством которого служат трансгрессии и регрессии морей и океанов, изменяющие соотношение площадей океанов и материков без изменения массы воды. Поверхностное образование воды, представленное в гипотезе 2, и ее роль в формировании материков и океанов на планете привели к постановке вопроса о процессах континентализации или

океанизации планеты. В первом случае происходит разрастание материковых платформ за счет океанического пространства, во втором возрастает общая площадь океанических впадин. В работе [2, с. 97] отмечается, что «основное содержание воззрений, которое можно объединить под общим названием континентализации, или необратимого роста континентов – первичность океанической коры и вторичность континентальных образований. Другими словами, развитие земной коры происходит путем разрастания мощности и площади материковой силикатической коры. Таким образом, океаны соответствуют ранним этапам развития коры. Направленность этого развития – от океанов через геосинклинали к платформам. Океанические территории сокращаются, континенты разрастаются. Эта идея подкрепляется также данными абсолютного возраста о постепенном росте континентов. Процесс этот необратимый – континенты никогда не превращаются в океаны».

Влияние магнитного поля и гравитационных приливов на подземную гидросферу Земли

Существует несколько гипотез образования магнитных полей планет, однако удовлетворительных физических обоснований для них нет. В настоящее время общепринятой считается теория магнитогидродинамического динамо, согласно которой магнитное поле образовывается и генерируется благодаря конвекционным потокам в жидком токопроводящем ядре, существование которого является сомнительным.

Образование и эволюция водосодержащих атмосфер планет сопровождалось образованием электрических и магнитных полей, которые затем активно участвовали в геологических процессах на планетах земной группы. Экзогенная и эндогенная деятельность на этих планетах отражена на космических снимках. Наша гипотеза образования внешнего магнитного поля Земли и планет Солнечной системы была опубликована в 2001 г. [16]. По нашим представлениям, магнитные поля Земли и планет Солнечной системы образовывались не за счет токов в жидких электропроводящих ядрах планет, а за счет внешней тороидальной токовой системы, образованной ионосферными токами в магнитосферах вращающихся планет. Современное магнитное поле Земли отличается от магнитных полей планет земной группы. Оно представлено радиационными поясами (РП) заряженных частиц. РП состоят из захваченных в приполярных областях планеты заряженных частиц солнечного ветра и газов, эманированных планетой с последующей их ионизацией. Величина и составы атмосферных газов зависят от дегазационных возможностей планет. Эти пояса представляют собой объемный ионосферный ток в разряженной межпланетной газовой среде, дифференцированный по плотности заряженных частиц гравитационным полем планеты с образованием внутреннего – протонного и внешнего – электронного поясов. Напряженность магнитного поля планет определяется алгебраической суммой величин ионосферных токов. Образованное подобным образом внешнее магнитное поле планеты имеет постоянную и переменную составляющие. Постоянная – дипольная составляющая магнитного поля (МП) – образована постоянным кольцевым экваториальным током (током Педерсена), имеющим определенное направленное движение заряженных частиц, которое, согласно «правилу буравчика», показывает направление геомагнитной оси на юг. Для того чтобы не было путаницы в будущем, магнитологами было принято решение оставить все в представлениях магнитного поля Земли без изменений. Переменная составляющая МП определяется количеством заряженных частиц солнечного ветра, захваченных через полярные магнитонейтральные области (каспы) магнитосферой планеты. Изменяющиеся корпускулярные потоки частиц солнечного вещества и солнечного электромагнитного излучения, являющиеся компонентами солнечной радиации, вызывают изменения в токовой системе магнитного поля Земли в виде флуктуаций – геомагнитных пульсаций в широком диапазоне частот. Следовательно, солнечная радиация, воздействующая на планету, является связующим агентом влияния солнечной активности на изменения магнитного

поля Земли, геофизические и геохимические процессы, связанные с электропроводящими и магнитными веществами планеты. Таким образом, геомагнитные пульсации, возникающие в МПЗ, генерируют и индуцируют во всех электропроводящих сферах Земли (атмосфере, гидросфере, литосфере) теллурические токи. Эти токи в минерализованных водосодержащих электропроводящих средах преобразуют электромагнитную энергию Солнца в земное тепло, которое совместно с теплом экзотермических реакций аккумулируется и активизирует все земные процессы. Мы предполагаем, что величины произведенного тепла за счет этих процессов будут незначительными, но аккумуляция тепла за длительный период времени позволяет поднять температуру в замкнутой водосодержащей системе до значений, способных образовать магматические очаги и астенолиты.

Из анализа магнитных полей планет Солнечной системы видно, что потеря Меркурием, Венерой, Марсом и Луной ионизованных атмосфер привела к исчезновению магнитных полей планет. Судя по данным космических аппаратов о незначительных остаточных магнитных полях планет и наведенной намагниченности пород, магнитные поля у данных планет и Луны в прошлом были.

В работе [31, с. 191] высказано предположение о том, что в прошлом ось палеомагнитного поля Земли совпадала с палеогеографической осью ее вращения. В настоящее время ось диполя магнитного поля Земли наклонена относительно оси вращения Земли на 11,5 град. Наличие двух осей вращения Земли говорит о том, что мы имеем дело с двумя взаимосвязанными инерционно вращающимися массами с собственными осями вращения – для атмосферы и планеты. Механическое взаимодействие (обмен импульсом, теплом и влагой) между атмосферой и поверхностью планеты происходило и происходит за счет трения в области планетарного атмосферного пограничного слоя. Толщина этого слоя в настоящее время составляет от нескольких сотен метров ночью до 2–3 км в дневные часы [1, с. 13]. При этом с учетом трения скорость вращения атмосферы планеты определялась бы скоростью вращения самой планеты с постоянной величиной отставания бесконечно долго, если бы не было электромагнитного взаимодействия магнитного поля планеты с электропроводящими и магнитными массами планеты. Это взаимодействие является внешним по отношению к планете и может влиять на скорость ее вращения. Необходимо отметить, что скорости движения планет по орбитам и скорости вращения планет вокруг собственных осей, заданные импульсом момента движения ударной волны рождающимся Солнцем в межзвездном пространстве с глубоким вакуумом, должны оставаться постоянными бесконечно. В вакууме нет сил сопротивления движению и вращению со стороны космической среды. В работе [12] сделан тот вывод, что изменения солнечной активности отвечают за нерегулярные изменения скорости суточного вращения Земли, а последние – за сейсмические явления. Эти изменения очень незначительны, но за геологическое время они, за счет торможения вращения, привели к значительному увеличению периода суточного вращения планеты. Такой подход к объяснению замедления скорости вращения Земли логично объясняет не только сам процесс торможения, но и влияние солнечной активности на эволюцию земных процессов. Объяснить замедление скорости вращения Земли гравитационным воздействием Луны [25], вызывающим земные и морские приливы, довольно сложно.

Следовательно, для Земли мы имеем две взаимосвязанные механическим и электромагнитным взаимодействиями вращающиеся массы с двумя осями вращения. Ось вращения твердой массы Земли является географическая ось, а геоцентрическая ось вращения массы газовой оболочки, ионизованная часть которой формирует магнитное поле Земли, является геомагнитной осью магнитного поля Земли. Положение геомагнитной оси в солнечном пространстве будет неизменно перпендикулярно направлению солнечного ветра, а географическая ось вращения будет менять наклон в зависимости от нарушения равновесия вращающейся массы за счет ее перераспределения на поверхности Земли [35].

В настоящее время данные, подтверждающие наши представления о влиянии солнечной активности на протонную и электронную составляющие радиационных поясов

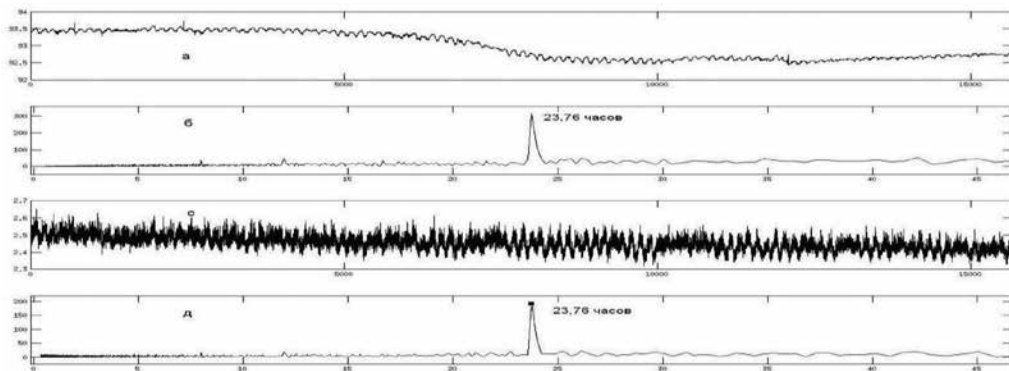
и приводящие к изменению напряженности магнитного поля Земли, можно получить, например, с космического аппарата SOHO на сайте [owww.nascom.nasa.gov], где выкладываются материалы спутниковых и наземных наблюдений за состоянием космической погоды. Эти наблюдаемые данные нельзя объяснить с помощью общепринятого представления об образовании магнитного поля Земли, в котором происхождение главного поля объясняется наличием в ядре круговых токов, возникающих по механизму динамо. Анализируя магнитные поля планет земной группы, отметим, что исчезнуть ядра планет, формирующие магнитные поля, не могли, а магнитных полей у земных планет, кроме Земли, нет. Регистрируемые незначительные магнитные поля планет земной группы относят к остаточной намагниченности вещества планет бывшими магнитными полями. Также возникает вопрос о существовании жидких металлических ядер в газожидких планетах-гигантах, имеющих мощные магнитные поля и громадные магнитосферы.

Приведем примеры разных видов контроля за изменениями параметров среды, точнее откликов среды на внешние гравитационные и электромагнитные воздействия на Землю. Закачка космической энергии в недра Земли происходит по законам воздействия электромагнитной энергии Солнца и, возможно, гравитационной энергии Солнца и Луны. Поэтому мы и наблюдаем установленные зависимости: корреляция тектонической деятельности Земли с изменениями магнитного поля Земли [19, 22]; влияние солнечной активности на вулканические [17, 37] и тектонические микроземлетрясения [41]; корреляция расхода лавы с солнечной активностью [20]; и др.

Эксперимент

Для подтверждения предположений о влиянии внешних факторов на подземную гидросферу в 2017–2018 гг. были проведены наблюдения за температурой и давлением на изливе глубокой напорной термальной скважины Верхне-Паратунской гидротермальной системы (ВП ГТС), расположенной в сейсмически активном регионе Земли (южная Камчатка). Наблюдения велись с целью регистрации изменений термодинамических параметров ГТС, которые являются откликами этой системы на внешние воздействия, такие как лунно-солнечные приливы, глубинное и поверхностное тепло, геодинамическое давление в регионе. ВП ГТС находится в зоне пересечения разноранговых разломов. Водоупорный слой гидротермальной системы, по данным геологов, расположен на глубине 400–600 м. На самоизливающейся скважине ГК-37 (глубина 1750 м, температура 95 °С, давление 10 атм., обсажена на глубину 600 м) были организованы непрерывные синхронные наблюдения за температурой и давлением в скважине с частотой опроса 10 мин. В результате наблюдений в течение 3 лет получены данные об изменениях синхронных флуктуаций температуры и давления термальной воды, в которых были выявлены околосуточные колебания. Околосуточные колебания данных параметров в гидротермальной системе наиболее четко проявлялись в летний период и менее выразительно – в зимний. Спектральный анализ околосуточных колебаний показал наличие только одной солнечной компоненты (см. рисунок).

Данные эксперимента показали следующее: отсутствие в гидротермальной системе воздействий лунно-приливного характера; годовое распределение солнечно-суточных колебаний; практически постоянный уровень значений температуры и давления, без учета флуктуаций, которые наиболее интересны при рассмотрении откликов системы на разные воздействия; охлаждающее влияние таяния снега в межсезонье на гидротермальную систему составляет 0,7–0,9 °С



Изменения температуры (верхний график), давления (нижний график) и соответствующие им спектры околосуточных колебаний (Верхне-Паратунская гидротермальная система, 2017–2019 гг.)

Заключение

Исходя из наших представлений об образовании Земли как холодного тела, которые совпадают с взглядами В.И. Вернадского, считавшего, что «наша Земля, взятая в целом, является холодным инертным в астрономическом смысле телом, как и все другие планеты нашего Солнца» [6, с. 35], можно предположить:

1. Геологические процессы на холодной Земле и подобные им на планетах земной группы начались не в глубинах сформировавшихся планет с выделением тепла, воды и газов на поверхность, что в настоящее время считается общепризнанным фактом, а с нагрева Солнцем поверхностей планет, на которых образовалась вода. Эта метеорная вода, проникая вглубь планеты, создала подземную гидросферу, в которой преобразовывается и накапливается энергия разнообразных внутренних и внешних воздействий.

2. Постоянство водной оболочки на Земле предусматривает, что по мере роста подземной гидросферы будет уменьшаться объем воды в Мировом океане, а следовательно, и его площадь.

3. По нашим представлениям, внутреннее тепло, образованное взаимодействием воды с первородным веществом планеты за счет экзотермических химических реакций и тепла токов, индуцированных геомагнитными пульсациями вглубь планеты, приурочено к глубинным разломам. В районе этих разломов происходят тектонические, вулканические процессы и смещения земной коры за счет высоких давлений и объемных деформаций, возникающих при вещественных превращениях и температурных изменениях в системе вода–порода.

4. Как показывают анализ литературных данных и результаты экспериментов, проведенных на Верхне-Паратунской гидротермальной системе, наличие и изменения суточных колебаний температуры и давления в подземной гидросфере совпадают с дневной активностью Солнца, что позволяет сделать предположение о том, что эти воздействия влияют на всю толщу подземной гидросферы и не являются гравитационными.

Выражаем признательность к.ф.-м.н. С.Ю. Хомутову и к.г.-м.н. В.И. Белоусову за интерес к работе и ее обсуждение.

Начало работы выполнено при финансовой поддержке РФФИ (02-03-64237а), которая позволила организовать непрерывные наблюдения за термодинамическими параметрами гидротермальной системы и выбрать наиболее информативную скважину для режимных наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атмосфера: справочник (справочные данные, модели). Л.: Гидрометеиздат, 1991. 509 с.
2. Батюшкова И.В. История проблемы происхождения материков и океанов. М.: Наука, 1975. 138 с.
3. Вартанян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли // Докл. АН СССР. 1982. Т. 262. С. 310–314.
4. Вернадский В.И. История природных вод. М.: Наука, 2003. 750 с.
5. Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.: Наука, 1983. 422 с.
6. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 373 с.
7. Виноградов А.П. Проблемы геохимии и космохимии. Избранные труды М.: Наука, 1988. 336 с.
8. Волохов И.М. Магмы, интрателлурические растворы и магматические формации (Заметки и некоторые предположения о магмато- и петрогенезе). Новосибирск: Наука, 1979. 166 с.
9. Горшков Г.П. Об очаге землетрясения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4, геология. 1963. № 2.
10. Грейтон Л.К. Предположения о вулканическом тепле: М.: Иностран. литература, 1949. 165 с.
11. Дерпгольц В.Ф. Мир воды. Л.: Недра, 1979. 254 с.
12. Калинин Ю.Д. Солнечная обусловленность изменения длины суток и сейсмической активности // Геомагнетизм и аэрономия. 1975. Т. 15. С. 170–171.
13. Киссин И.Г. Флюидонасыщенность земной коры, электропроводность, сейсмичность // Физика Земли. 1996. № 4. С. 30–40.
14. Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины. М.: Недра, 1984. 490 с.
15. Котина Р.П., Френкель М.Я., Ярошевский А.А. Модель тепловой эволюции системы с экзотермическими реакциями и некоторые вопросы палингенеза // Геохимия. 1969. № 11. С. 1370–1378.
16. Кузьмин Ю.Д., Белоусов В.И., Сахно В.Г. Новый взгляд на Землю и процессы, происходящие на ее поверхности и глубине // Вестн. ДВО РАН. 2001. № 5. С. 100–122.
17. Кузьмин Ю.Д., Широков В.А. О влиянии космических факторов на сейсмичность и вулканизм Камчатки // Вопр. географии Камчатки. 1990. Вып. 10. С. 90–98.
18. Кузьмин Ю.Д., Сахно В.Г. Происхождение воды и ее роль в эволюции Земли // Вестн. ДВО РАН. 2020. № 2. С. 115–129.
19. Куражковский А.Ю., Куражковская Н.А., Клайн Б.И. О связи изменений напряженности магнитного поля Земли с геотектоническими процессами // Докл. АН. 2007. Т. 414, № 1. С. 97–100.
20. Леонов В.Л. О возможности сопоставления вулканической и солнечной активности на примере БТТИ // Вулканология и сейсмология. 1979. № 6. С. 62–66.
21. Мороз В. И. Физика планет. М.: Наука, 1967. 493 с.
22. Никишин А.М., Лейбов М.Б. О корреляции эпох тектонической истории Земли с изменением ее магнитного поля // Докл. АН СССР. 1987. Т. 2970, № 1. С. 167–169.
23. Орленок В.В. История океанизации Земли. Калининград: Янтарный сказ, 1998. 248 с.
24. Паняк С.Г. Формирование Земли: геолого-астрономический аспект // Изв. Уральского геологического горного ун-та. 2000. № 10. С. 7–11.
25. Перцев Б.П. О вековом замедлении вращения Земли // Физика Земли. 2000. № 3. С. 35–39.
26. Поспелов Г.Л. Проблемы эндогенной динамической флюидитологии // Геология и геофизика. 1969. № 11. С. 3–20.
27. Садовский М.А. О механике блочного горного массива // Геофизика и физика взрыва: избр. труды. М.: Наука, 2004. С. 399–402.
28. Семенов Н.Н. Избранные труды. Т. 2. Горение и взрыв. М.: Наука, 2005. 704 с.
29. Семенов Н.Н. Цепные реакции. 2-е изд. М.: Наука, 1986. 535 с.
30. Справочник химика. Т. 1. М.; Л.: Химия, 1966. 1071 с.
31. Стейси Ф. Физика Земли. М.: Мир, 1972. 342 с.
32. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы. М.: Наука, 1983. 280 с.
33. Ферронский В.И. Изотопия природных вод и проблема происхождения Земли и ее гидросферы // Изотопия природных вод. М.: Наука, 1978. С. 3–9.
34. Физика космоса: Маленькая энциклопедия. М.: Сов. энциклопедия, 1986. 783 с.
35. Хизанашвили Г.Д. Динамика земной оси вращения и уровней океанов. Тбилиси: Цодна, 1960. 160 с.
36. Шило Н.А. Вихри – колыбель Солнечной системы. Гипотезы. Прогнозы (Будущее науки): междунар. ежегодник. Вып. 21. М.: Знание, 1988. С. 89–111.
37. Широков В.А., Кузьмин Ю.Д. О суточной цикличности вулканических землетрясений в Курило-Камчатской зоне // Вулканология и сейсмология. 1988. № 5. С. 92–99.
38. Яковлев Л.Е., Боровский Л.В. Гидродинамическая реакция системы вода–порода на химические и термические объемные деформации // Геохимия. 1994. № 7. С. 1002–1011.
39. Яковлев Л.Е. Инфильтрация воды в базальтовый слой земной коры. М.: Наука, 1999. 200 с. (Тр. ГИН РАН; вып 497).
40. Nutman F.P., Friend C.R.I., Bennet V.C. Review of the oldest (4400–3600 Ma) geological and mineralogical record: glimpses of the beginning // Episodes. 2001. Vol. 24, N 2. P. 93–100.
41. Surenda S. Geomagnetic activity and microearthquakes // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1978. Vol. 68. P. 1533–1535.
42. Pianil L., Marrocchi Y., Rigaudier T., Vacher L.G., Thomassin D., Marty B. Earth's water may have been inherited from material similar to enstatite chondrite meteorites // Science. 2020. Vol. 369, iss. 6507. P. 1110–1113. DOI: 10.1126/science.aba1948