

УДК 556:001.1

Представления и роль воды в геодинамике планеты

А.Я. Гаев^а, М.Ю. Нестеренко^б, И.В. Куделина^а

^аИнститут экологических проблем гидросферы при ОГУ
460018, Оренбург, пр. Победы, 13. E-mail: gayev@mail.ru

^бОренбургский научный центр УрО РАН
460014, Оренбург, ул. Набережная, 29

(Статья поступила в редакцию 27 августа 2019 г.)

Среди источников энергии геодинамики Земли игнорируется энергетика, связанная с изменениями структуры и плотности химических соединений, особенно вблизи так называемой критической точки, что подтверждено открытием «сверхводы» и обнаружением воды в солнечных пятнах. Стало ясно, что водные флюиды в надкритическом состоянии есть в мантии и ядре Земли. Переход воды в надкритическое состояние, по нашему мнению, происходит у границы Конрада, что фиксируется сейсмикой при отсутствии разницы в литологии пород. Исследования и моделирование параметров химических компонентов при высоких температурах и давлениях позволяют выяснить причины изменения сейсмической скорости и плотности пород на разных глубинах Земли, что повысит эффективность прогноза, поисков и разведки полезных ископаемых и прогноза негативных геодинамических процессов.

Ключевые слова: *источники энергии, геологические и геодинамические процессы, землетрясения, структура веществ, критические точки, водные флюиды.*

DOI: 10.17072/psu.geol.19.1.13

Введение

Со второй половины XX в. большую популярность приобрела теория литосферных плит. Значительную роль в укреплении позиций этой теории сыграло мастерство ее популяризации, особенно в учебной литературе. Но ряд существенных фактов остался без внимания и обсуждения в рамках этой популярной глобальной теории плит.

На это уже в 1960 г. указал крупный ученый-геофизик академик В.А. Магницкий в докладе на XXI сессии МГК: «Так как можно уверенно говорить, что земная кора выделилась из оболочки в процессе развития Земли, то из равенства тепловых потоков на континентах и океанах следует вывод, что не существовало крупных горизонтальных перемещений, порядка тысяч километров, больших блоков земной коры, как то предполагает гипотеза мобилизма, так как при этом тепловые потоки на континентах и океанах отличались бы друг от друга в 1.5-2 раза. Следовательно, континенты и океаны, в общем, возникли примерно в тех местах, где они сейчас расположены».

Зарождение теории мобилизма связано с именем Альфреда Вегенера и его книгой «Происхождение материков и океанов» (1915). Он заметил сходство очертаний за-

падных и восточных берегов Атлантики. По его предположению, ранее существовал единый материк Пангея, который разделился и разъехался под влиянием центробежных сил вращения планеты. Его гипотеза основывалась на ряде допущений: 1) под континентами существует дефект массы, обусловленный наличием легкого слоя «сиаль» мощностью в десятки километров. Под океанами такого слоя нет, там расположен слой «сима», более тяжелый. Горные сооружения, по Вегенеру, сформировались перед движущимся материком.

В начале 50-х гг. XX в. сейсмическими исследованиями установлено наличие в океанах коры мощностью 5–10 км и получены результаты палеомагнитных исследований, говорящие о перемещении Северной Америки от Европы в мезозое начиная с позднего палеозоя. А. Холмс, Г. Юри, Э. Краус, Ф. Венинг-Мейнес и др. вспомнили идею О. Амферера (1906) о подкорковых течениях, способствующих смещению континентов или их частей. Но концепцию тектоники плит и теорию спрединга связывают с публикациями Р. Дица и Г. Хесса (1962). Они, выдвигая эту концепцию, назвали ее интуитивной и не пытались даже обосновывать ее «многочисленные предположения». Идея Дитца и Хесса заключается в предположе-

нии, что под влиянием тепловой конвекции в мантии океаническая кора образуется и растекается симметрично по сторонам оси срединно-океанических хребтов.

Со срединно-океаническими поднятиями они связывают восходящие мантийные потоки, что противоречит законам гидравлики. Поднятие земной коры и мантии может сопровождаться только разуплотнением их вещества, прежде всего за счет роста трещиноватости. В глубоководных желобах при погружении земной коры, наоборот, происходит уплотнение вещества коры и мантии, трещиноватость их сокращается в объеме и под влиянием роста давления флюиды перемещаются вверх. Поэтому картина предположений этих авторов не правдоподобна.

В связи с гипотезой Ф. Вайна и Д. Мэттьюза (1963) о линейных магнитных аномалиях, образующихся якобы при спрединге, началась стратификация океанических базальтов. Дж. Вильсон (1965) выдвинул представления о трансформных разломах и крупных горизонтальных смещениях океанической коры.

В обобщающих статьях 1968 г. в земной коре выделены литосферные плиты, перемещающиеся горизонтально в связи с раздвигом рифтовых зон, поддвигом в глубоководных желобах и сдвигом по трансформным разломам на сотни километров.

Положение контуров плит соответствует цепочкам эпицентров землетрясений. Количество плит со временем растет от 6 до 11 и более. В 80-х гг. XX в. канадские и американские исследователи выделили так называемые «террейны» – блоки коры, которые каким-то образом переместились на тысячи км по периферии Тихого океана. Террейны начали обнаруживать и на северо-востоке РФ, и в других районах.

Интенсивный вулканизм на литосферных плитах обусловлен якобы магматическими очагами, или «горячими точками». Они и составляют к поверхности магму базальтов, часто со щелочными металлами. По горячим точкам, которые остаются на месте, определяется смещение литосферной плиты. А возраст вулканов в цепочке закономерно уменьшается в направлении, противоположном движению плит.

Широкому распространению идей мобилизма и внедрению их в учебный процесс без критического разбора способствовала весьма энергичная деятельность основоположников этих идей (Хаин, Ломизе, 2005). Искажение реальных фактов дошло до такой степени, что один из известных геологов академик РАН В.Е. Хаин, рассматривая важнейшие процессы в развитии Земли, среди геосфер планеты в пике выдающемуся В.И. Вернадскому видел только атмосферу, биосферу и литосферу, полностью игнорируя гидросферу (Хаин, 2007).

Но геологическая история планеты началась не с конца палеозоя, и у сторонников мобилизма возникли большие противоречия с результатами биостратиграфических исследований, с картиной расчленения земной коры на складчатые пояса, платформы и относительно молодые океаны как зоны опускания континентов.

Критика идей мобилизма

С критикой мобилизма выступали и выступают крупнейшие геологи начиная с А.Д. Архангельского (1937), П.Н. Кропоткина (1948), Н.С. Шатского, Н.М. Страхова, Л.И. Салопа, В.И. Смирнова, Ю.А. Косыгина, А.А. Пронина, Ю.М. Шейнманна, М.В. Муратова и В.В. Белоусова, который рассмотрел эволюцию океанов и континентов.

Крупные зарубежные ученые также категорически отвергают концепцию дрейфа материков (Г. Джефрис, 1959, А.А. Мейерхофф в публикациях 70-гг., А.В. Чекунов, Буллард, Бюролле и др., Ван-Хилтен, Кэри, Берд и др., Ритсема, Смит, Фогт, Дьюи, Берд, Капута, Райан, Боуэн и др.). Пока сторонники классической геотектоники за рубежом и в РФ в меньшинстве, но они начали объединяться с целью раскрыть и объяснить новый фактический материал, противоречащий тектонике плит. По этому поводу систематически проходят симпозиумы: в Вашингтоне (1989), Пекине (1996), Японии (1998), Осло (2001), Москве (2001) и т.д. В Австралии с 1997 г. начал выходить журнал «New Concepts in Global Tectonics» с публикациями, альтернативными плитной тектонике. В книге палеомагнитолога из Норвегии К. Storetvedt (1997) «Наша развивающаяся планета: история

Земли в новой перспективе» результаты палеомагнитных данных объясняются разворотом Земли при стабильном расположении континентов.

В настоящее время факты, не укладывающиеся в концепцию тектоники плит, делят на три группы: а) новые данные по геологической истории океанов; б) идеи плит-тектоники в условиях континентов; в) новые геофизические данные о процессах и строении коры и мантии и их интерпретация.

Н.И. Павленкова отметила, что до сих пор нет объяснения наличию зон с пониженной плотностью в средней части земной коры и у границы Мохо. Эти зоны обнаружены в разных типах земной коры с разной историей развития, «и их формирование трудно объяснить простой сменой состава слагающего кору их вещества» (Павленкова, 2019). Электромагнитные данные, в частности на Украинском и Балтийском щитах, свидетельствуют о высокой насыщенности этих зон флюидами (Ваньян, Павленкова, 2002). По данным ряда авторов (Крылов, 1980; Naat, Natton; 1986, Grad, Luosto, 1987; Баранова и др., 2011), аналогичные слои обнаружены в регионах Восточно-Европейской, Сибирской платформ и молодой Западно-Европейской плиты (Павленкова, 2019). Исследователи отмечают, что выше зон неоднородности породы характеризуются повышенной хрупкостью, а ниже – пластичностью. Очаги землетрясений приурочены к кровле слоев с пониженными сейсмическими скоростями. По справедливому замечанию Н.И. Павленковой, объяснить зоны с пониженными скоростями только ростом температуры невозможно. Но уже доказано, что при высоком давлении с ростом температуры физические свойства веществ изменяются (Полежаев, Соболева, 2003; О параметрах...). Кольская сверхглубокая скважина вскрыла слои с пониженными скоростями в интервале 9–12 км, установив их повышенную трещиноватость. Но разница в составе пород не была обнаружена.

Слои с пониженными скоростями установлены также на границе Мохо. Предполагается, что в этой зоне малопроницаемые слои чередуются со слоями, насыщенными флюидами, что Jones (1992) объяснил повы-

шенной электропроводностью в низах коры (Павленкова, 2019). В.Н. Николаевский (1978) еще 40 лет назад отметил, что в условиях древних платформ зоны повышенной трещиноватости формируются на границе хрупких в кровле и пластичных в подошве слоев пород на глубинах около 40 км, где устанавливается изостатическое состояние коры.

Отсутствует убедительное объяснение двойных границ Мохо, но доказано наличие двух уровней реологически ослабленных интервалов пород с пониженными скоростями сейсмических волн: в коре у границы Конрада и в нижней части коры, на границе Мохо.

В настоящее время признается, что на тектонические движения и деформации, связанные со сжатием, растяжением, уплотнением пород планеты, влияет взаимодействие с Солнцем и Луной. Но до сих пор нет ответов на вопрос, как образовались зоны с пониженной плотностью в земной коре, на границе Мохо и у ядра Земли (Авсюк, 1996; Павленкова, 2014). Действительно, зоны с разуплотненными породами выявлены в разных типах коры с разным составом и разной историей развития. Сменой литологического состава пород, слагающих кору, их формирование, действительно, объяснить невозможно. Электромагнитные данные на щитах (Балтийском, Украинском), на палеозойских (Восточно-Европейской, Сибирской) и мезозойских (Западно-Европейской) платформах очень определенно говорят о связи разуплотненных зон с насыщенностью их флюидами. Многие исследователи считают, что в кровле зон неоднородности залегают породы с повышенной хрупкостью, сменяющиеся в подошве пластичными породами. К кровле этих зон неоднородности и приурочены очаги землетрясений. Н.И. Павленкова справедливо заметила, что неубедительно объяснять наличие зон с такими пониженными скоростями исключительно увеличением температуры.

Ученые в области физической химии со времен Ван-Дер-Ваальса доказали, что свойства химических соединений и их плотность изменяются при высоких температурах и давлении, и это происходит поблизости от критической точки равновесия между их

жидким и газообразным состояниями. В критической точке флюид приобретает необычные и пока не изученные нами свойства.

На Кольской сверхглубокой скважине была достигнута граница Конрада, т.е. были вскрыты слои, которые по геофизическим данным имели пониженные скорости. Интервал этих пород соответствовал глубинам 9–12 км. Была установлена повышенная трещиноватость этих пород, но никакой разницы в их составе не было обнаружено.

Как уже отмечено, пониженными скоростями по сейсмическим данным, характеризуются и слои у границы Мохо. Они интерпретируются, как чередование зон малопроницаемых и трещиноватых, насыщенных флюидами. Неоднородностью коры и мантии, обусловленной зонами разуплотнения, насыщенными флюидами, убедительно объясняются и двойные границы Мохо, и интервалы пород, характеризующиеся пониженными скоростями волн на границе Конрада.

Энергетические источники эндогенных деформаций пород до сих пор убедительно не выявлены. Большое значение придается энергетическому влиянию твердых приливов Луны и Солнца и энергетическому обмену продуктов экзогенных и эндогенных процессов. Продукты выветривания и осадочных пород аккумулируют энергию, затраченную на их формирование. При вовлечении их в глубь планеты они транспортируют туда энергию, затраченную на их образование. Таким образом, энергия и вещество планеты находятся в круговороте, переходя в разнообразные структурно-фазовые состояния. Вещественно-энергетическим обменом охвачены все оболочки планеты, включая ядро Земли. Таким путем планета получает необходимую энергию в разнообразных формах и фазовых состояниях. Энергетический баланс планеты характеризуется равновесными значениями приходных и расходных статей. Расходные статьи в виде теплового потока Земли в космическое пространство оцениваются в $4,2 \cdot 10^{13}$ Вт. Очевидно, что такими же величинами характеризуется энергия, поступающая в недра.

Под влиянием космогонической гипотезы Канта–Лапласа некоторые и сегодня считают энергию планеты остаточной от того геологического периода, когда Земля якобы была

огненно-жидкой, и теперь медленно остывает за свою геологическую историю. После открытия радиоактивности длительность истории планеты увеличили со 100 млн до 4–5 млрд лет. Стали преувеличивать роль энергии распада урана, калия и тория. Роль воды в эндогенных процессах плутонистами игнорировалась.

О роли разных источников энергии в эндогенных процессах

О.Г. Сорохтин в 1971 г. предположил, что основной источник энергии глубинных недр – это гравитационная дифференциация вещества, находящегося в пограничной зоне мантии с ядром (Сорохтин, Ушаков, 2002; Павлов, 1977). Расчетами было доказано, что количество радиогенной энергии не превышает 25 % энергии, выделяемой планетой. При этом замечено, что порядка 90 % радиоактивных элементов сосредоточено в верхах континентальной коры. В океане их не более 5 %, и они не объясняют тепловой поток планеты.

Источник энергии периода аккреции планеты, унаследованный от протопланеты, так же не убедителен, как и гипотеза Канта–Лапласа. На наш взгляд, ближе к истине исследователи, рассматривающие в качестве источника энергии планеты гравитационную дифференциацию вещества глубинных недр. Они считают, что тепловая энергия выделяется веществом при перераспределении его по плотности, что сопровождается его преобразованиями, связанными якобы с выделением силикатных и металлизированных компонентов (Fe_2O или FeO) (Сорохтин, Ушаков, 2002). Эти процессы якобы происходят в слое Д между мантией и ядром. Считается, что они были интенсивнее в архее, а затем их интенсивность то уменьшалась, то возрастала, но в целом уменьшалась.

По геофизическим данным гравитационная дифференциация имеет место и между внешним и внутренним ядром. Между астеносферой и литосферой гравитационная дифференциация протекает якобы за счет энергии, выделяемой при дифференциации перидотитов мантии, формируя базальты, внедряющиеся в литосферу с растворами-расплавами, наращивающими земную кору.

Процессы дифференциации продолжаются и в коре за счет энергии растворов-расплавов, достаточной, чтобы расплавить осадочные породы и сформировать породы гранито-гнейсового состава. Ряд исследователей считают их продуктами «былых биосфер».

Нам представляется, что гравитационно-плотностная дифференциация служит главным источником энергии глубинных недр и эндогенных геологических процессов. Давно установлена изменчивость свойств химических соединений около критической точки (Полежаев, Соболева, 2003). Так, у воды в этой точке диэлектрическая проницаемость снижается в 15 раз. И плотность гравитационной воды, перешедшей из надкритического состояния, уменьшается при увеличении объема в 1,5 раза и более. Выделяемая при этом механическая и тепловая энергия до сих пор не учитывается.

Космические источники энергии Земли только в последние полвека обратили на себя внимание. Так, О.Г. Сорохтиным и С.А. Ушаковым рассчитана энергия твердых приливов Земли под влиянием Солнца и Луны, составляющая до 2% теплового потока планеты. В архее Луна была ближе к Земле, и ее влияние на энергетический поток Земли было якобы больше в 13 тыс. раз. Высота твердых приливов тогда превышала 1000 м. В результате планета разогревалась до 500 °С. С ростом расстояния до Луны в конце архея влияние ее на тепловой поток Земли упало до 1–2%. Ю.Н. Авсюк предположил, что изменения параметров носили волновой характер, как и расстояние Луны от Земли (Авсюк, 1996). При этом менялась скорость вращения Земли, что сопровождалось деформациями и ростом трещиноватости земной коры.

Влияние водных флюидов на геодинамику Земли

Недостатком существующих представлений о факторах, влияющих на геодинамику планеты, является игнорирование энергетического потенциала различных структурно-фазовых состояний воды, кислорода, водорода и других химических элементов и их соединений при высоких температурах и давлении. Не рассматриваются ситуации с

околокритическими или надкритическими условиями (Полежаев, Соболева, 2003).

Ситуация меняется в связи с недавним открытием свойств так называемой «сверхводы» (Proceedings..., 2013), а также обнаружением воды в пятнах на Солнце (NASA..., 2014). Дело в том, что в соответствии с общепринятой схемой Мейнцера–Пиннекера граница гидросферы внизу традиционно проводится по изотермам 374 – 450 °С (Мейнцер, 1935; Основы гидрогеологии, 1980). Считается, что при повышении температуры вода, как химическое соединение, распадается на водород и кислород. Поэтому флюиды глубже указанных изотерм могут быть представлены только газами, а в магматические флюиды вода попадает ближе к поверхности. Ниже указанных глубин гидросферы нет, и это подтверждалось экспериментами (рис. 1).

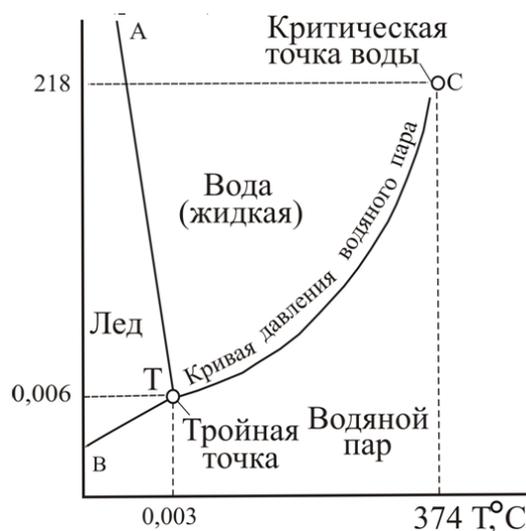


Рис. 1. Диаграммы по К. Краускопфу (Всеволожский, 2007). Фазовое состояние воды при разной температуре и давлении

Для воды дистиллированной критическая точка приурочена к 374 °С и давлению $2,2 \cdot 10^4$ кПа, а для минерализованной она вырастает до 450 °С и давления в $3,5 \cdot 10^4$ кПа. Поскольку вода обнаружена и на Солнце [NASA..., 2014], где температура в его пятнах выше + 4000 °С, то проблема подземной гидросферы требует пересмотра.

Существующие представления о гидросфере и круговороте воды в земных недрах пока очень фрагментарны и ограничиваются верхней частью литосферы, где распростра-

нены виды вод, известные в приповерхностной части Земли и на доступных нам глубинах (рис. 2).

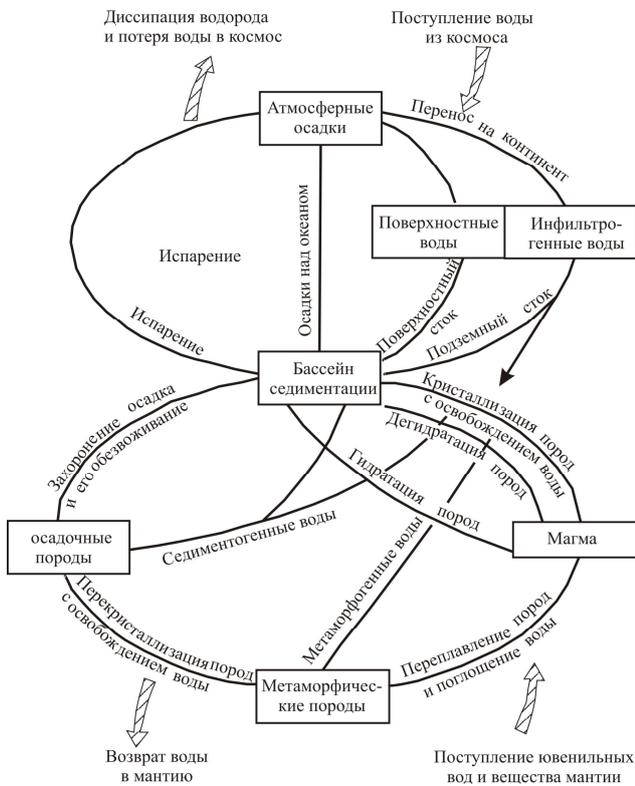


Рис. 2. Существующие представления о круговороте воды на Земле (Всеволожский, 2007; Основы гидрогеологии, 1980)

Единый круговорот воды на планете Земля включает климатическую, гидрогеологическую и геологическую ветви. Он характеризуется непрерывностью и необратимостью в развитии, сбалансированностью процессов водо- и теплообмена с атмосферой, педосферой, литосферой, мантией и с ядром Земли (Гаев и др., 2016). В связи с открытием вод в надкритическом состоянии, так называемой «сверхводы» (Proceedings, 2013), приоткрывается информация о ювенильных водах, и необходимости выделения гидродинамических зон планеты вниз от границы Конрада, где эти воды появляются.

Возникла уверенность в наличии воды в мантии и ядре Земли. Такие предположения были уже у В.И. Вернадского, С.М. Григорьева, А.Н. Павлова, Н.И. Толстихина, В.А. Кирюхина и др. (Вернадский, 2012; Григорьев, 1971; Павлов, 1977). А.П. Виноградов, А. Полдерварт, О.Г. Сорохтин и другие ученые полагали, что формирование гидросферы протекало так же долго, как и вся геологическая история Земли в процессе мантийной дегазации (комментарий В.М. Шестопалова и др. к работе В.И. Вернадского «История природных вод» (Вернадский, 2012)).

Объем Мирового океана менялся, пульсируя в обе стороны, то возрастая, то уменьшаясь в соответствии с тектоническими циклами. Об этом свидетельствуют изменения уровня вод океана, амплитуда колебаний которого достигала 400 м и более.

В.А. Кирюхин выделил мантийный цикл в геологическом круговороте воды (Кирюхин, 2008). Но вопрос о нижней границе гидросферы требует уточнения. «Законсервированная» вода, близкая по составу к морской, предположительно движется к континентам от срединных хребтов. Подсчитаны даже темпы этого движения в $0,2 \text{ км}^3/\text{год}$ и количество воды в литосфере океана в $1,8 \cdot 10^8 \text{ км}^3$ (Зверев, 2006). В соответствии с глобальной тектоникой литосферных плит, по В.Е. Хаину, океаническая литосфера отделена от литосферы континентального и промежуточного типа структурами глубоководных желобов. Земная кора и верхняя мантия в глубоководных желобах испытывают погружения, которые вызывают существенный рост давления и восходящее движение флюидов в этих зонах. В то же время тектонические движения положительного знака на срединно-океанических хребтах могут формировать в зонах развивающихся рифтов только пьезоминимумы. Поэтому мантийные воды здесь разгружаться не могут. Наоборот, океаническая вода, как и в Бермудском треугольнике, через развивающиеся рифты будет засасываться мантией в этой области ее питания. Следовательно, рифтовые зоны срединно-океанических хребтов — это начальное звено круговорота воды в глубинную гидросферу. Вода может перемещаться только от районов с высоким давлением к зонам пониженного давления, т.е. от структур, испытывающих тектонические погружения к рифтовым зонам и к жерлам вулканов с разгрузкой вод через рифты, формирующиеся в связи с зонами погружения литосферы и мантии. На этом пути водные флюиды серпентинизируют гипербазиты и гранитизируют базиты коры, а также подпитывают растворы-расплавы (магмы).

Понимания природы, наличия и движения воды в астеносфере и мантии породили дискуссии о различных течениях глобальной геодинамики Земли. В результате обоснована роль флюидов мантии при землетрясениях, гипоцентры которых прослежены до глубин в 700–900 км (Гаев и др., 2016; Зоненшайн, Кузьмин, 1993; Павленкова, 2019). Но большинство исследователей до сих пор по-прежнему считают, что вода при температуре выше критической (374–450°C) распадается на кислород и водород, игнорируя закономерности о критической точке (Полежаев, Соболева, 2003; О параметрах...). Геологической наукой как-то было упущено, что химические элементы и их соединения существуют и в надкритическом состоянии, в том числе в мантии и ядре Земли. Здесь химическая форма движения материи сохраняется, но несколько стирается разница между ее жидкой и газовой фазами. Поэтому геологи до сих пор считают, что мантийные флюиды существуют только в газовой фазе, относя к газам и тугоплавкие компоненты.

Но С.М. Григорьев (1971), анализируя роль воды в геологической истории, предположил, что вода играет активную роль глубоко в недрах, образуя там дренажную оболочку. Ряд геологов, опираясь на косвенные данные, предположили наличие в зонах рифтов над камерами с магмой у границ Конрада и Мохоровичича зоны циркуляции флюидов.

С открытием надкритического состояния вод и обнаружением воды в солнечных пятнах, что, скорее всего, относится к короне Солнца, подтверждены смелые предположения ученых о наличии воды в глубинах литосферы, мантии и ядре. Стало ясно, что магмы – это растворы-расплавы, в которых вода в надкритическом состоянии играет существенную роль в круговороте воды, вещества и энергии.

Переходы из надкритического состояния в гравитационное происходят при резком изменении давления. Зоны пониженного давления возникают при тектонических деформациях земной коры и мантии под влиянием как эндогенных, так и космических тел. Резкий переход водных растворов и расплавов из надкритического в гравитационное состояние сопровождается практически мгновен-

ным ростом объемов флюидов. Взрывной характер этого явления определяется степенью хрупкости толщ пород, расположенных выше. Если учесть, что гипоцентры наиболее глубокофокусных землетрясений расположены в мантии на глубинах 700–900 км, то можно заключить, что воды из надкритического состояния могут переходить в гравитационное состояние не только на границе Конрада на глубине 15–20 км, но и до указанных выше глубин в мантии.

Нам представляется, что охарактеризованный механизм, выявленный для воды, по нашему мнению, служит главным источником энергии в глубинах планеты, рождающим вулканизм, магматизм, гидротермальные проявления черных и белых курильщико-ков и др. Водные растворы-расплавы содержат хлор, натрий, стронций, бром и бор по концентрациям, близким к воде океана. Но по калию и кальцию они отличаются в 0,4–5 раз, кремнию и алюминию – в $(5–50)10^1$ раз, что, видимо, обусловлено процессами серпентинизации и гранитизации в земной коре и мантии. В разных типах разрезов мантии и земной коры существенно различаются ассоциации металлов, микро- и рассеянных элементов. Так, по сравнению с водами океана марганец и железо накапливаются в $(2–7) \cdot 10^6$ раз, свинец – в $(2–6) \cdot 10^4$, цинк, медь и кобальт – в $(4–40) \cdot 10^3$, серебро и бериллий – в $(1–2) \cdot 10^3$, кадмий – до 100 раз, барий, литий и рубидий – в 3–40 раз, мышьяк – до 10 раз, церий и европий – в $(6–40) \cdot 10^2$, остальные РЗЭ – в $(2–50) \cdot 10^1$ (по В.М. Шестопалову и др. (Вернадский, 2012)).

Новые материалы по геодинамике оправдывают пересмотр модели гидросферы с выделением зон разуплотнения, где очевидны скопления различных фаз воды (Гаев и др., 2016). Классическая модель строения подземной гидросферы, созданная трудами отечественных и зарубежных ученых, естественно корректируется в связи с новыми научными данными. Она представляется нам в виде водной оболочки планеты, развитой в пределах земной коры и верхней мантии, возможно, вплоть до подошвы астеносферы (рис. 3).

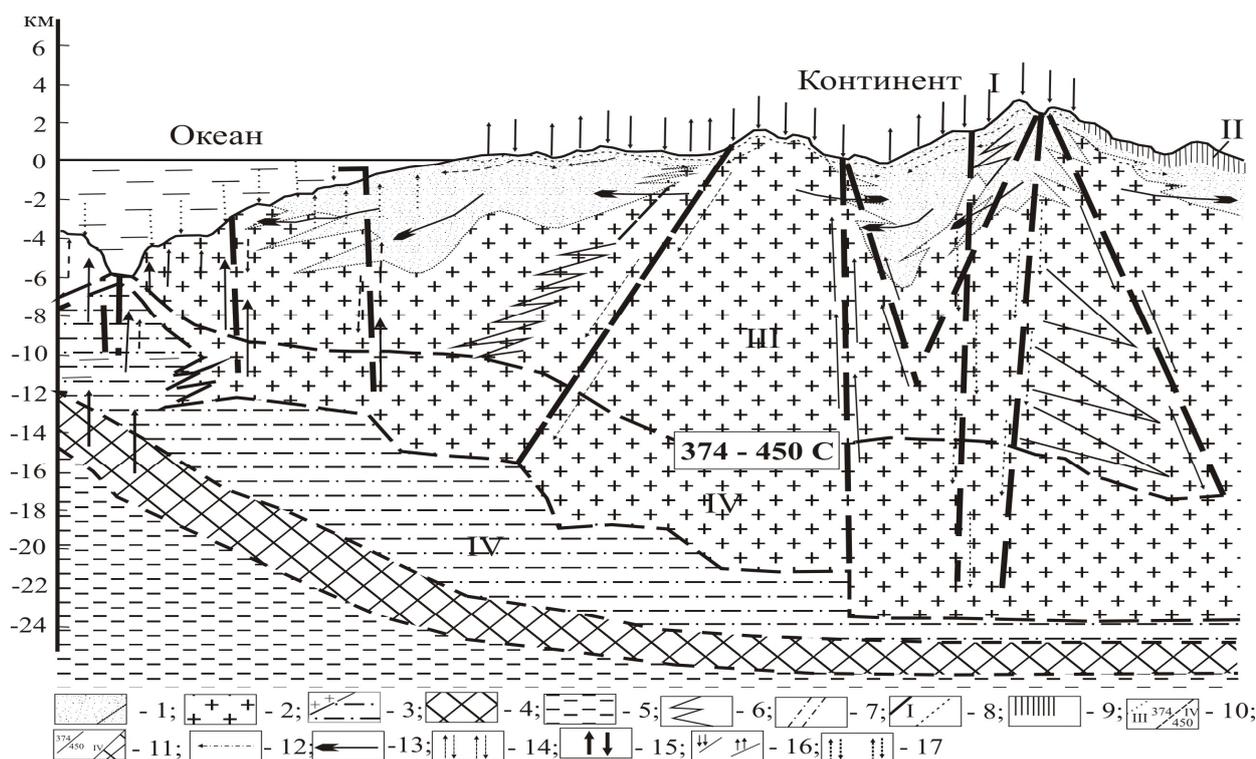


Рис. 3. Модель гидросферы Земли с двумя областями питания и разгрузки вод (Всеволожский, 2007): 1 – осадочный чехол земной коры и его подошва; 2 – гранитная и базальтовая оболочки земной коры; 3 – верхняя мантия над астеносферой и граница Мохоровичича; 4 – ювенильная область питания и разгрузки флюидов гидросферы в зоне влияния астеносферы; 5 – мантия под астеносферой; 6 – надвижки и шарьяжи в земной коре и верхней мантии вследствие плитной тектоники; 7 – зоны глубоких тектонических нарушений; 8 – зона аэрации и ее нижняя граница (вне масштаба); 9 – криолитозона; 10 – зона полного насыщения и ее границы; 11 – зона вод в надкритическом состоянии и ее границы; 12 – направление движения «местных» потоков подземных вод; 13 – региональных потоков; 14 – глубинных субвертикальных потоков; 15 – направление движения флюидов в ювенильной области питания и разгрузки гидросферы; 16 – инфильтрационное питание и разгрузка испарением и транспирацией грунтовых вод; 17 – захоронение морской воды и отжатие поровых вод.

На этой границе свободные гравитационные воды сменяются водами в надкритическом состоянии, но эти воды до глубин глубокофокусных землетрясений (700–900 км) проявляются локально в зонах, деформируемых при землетрясениях. Они обнаруживают свою неустойчивость, переходя в периоды сейсмических толчков в гравитационное состояние. Поэтому зону проявления землетрясений от границы Конрада до 700-900 км можно рассматривать в качестве ювенильного звена геологического круговорота гидросферы. Ювенильные воды – это воды в надкритическом состоянии. В зону их распространения в мантии гравитационные воды могут локально проникать по глубинным тектоническим нарушениям. А сама эта зона представляет собой ювенильную область питания и разгрузки гидросферы. Таким обра-

зом, гидросфера имеет две области питания и разгрузки: климатическую и геологическую. Под континентами и океанами, а в континентальных условиях на платформах и в горно-складчатых областях установлены разные типы гидрогеологических разрезов гидросферы. Эти различия в гидрогеологической зональности обусловлены диссимметрией в строении планеты, разной степенью гидрогеологической закрытости разрезов, что и определяет характер взаимосвязи ювенильной и атмосферной областей питания и разгрузки в гидросфере. Осадочный чехол платформы обеспечивает хорошую закрытость, необходимую для формирования залежей нефти и газа и сохранения любых других месторождений полезных ископаемых.

К сожалению, отсутствуют инструментальные методы оценки динамики раство-

ров-расплавов (магм) в условиях мантии и земной коры. Потребностям практики и требованиям объективной оценки не полностью удовлетворяют геофизические, индикаторные методы и лабораторные эксперименты. Пока количественные гидродинамические оценки миграции флюидов ограничиваются расчетными методами и моделированием. Применяются математический аппарат, компьютерные технологии, приемы гидравлики, механики сплошных сред и термодинамики. Поэтому пока представления о глубинных частях гидросферы достаточно фрагментарны. Для доступной части гидросферы хорошо разработаны вопросы орографической дисимметрии и ландшафтно-климатической зональности, высотной поясности и неоднородности структурно-геологического строения, литологического состава и коллекторских свойств пород. В глубинных зонах большое значение имеют термодинамические условия геологического развития, пространственно-временные особенности развития земной коры и мантии.

Фрагментарный характер представлений о геологическом круговороте или о субдукционном цикле круговорота вод рассмотрен А.Н. Павловым и В.А. Кирюхиным (Кирюхин, 2008, Павлов, 1977). Океаническая кора, как они предполагают, перемещается к континентам от срединных хребтов и возвышенностей дна океана. Деформации и разломы в земной коре и в мантии, по нашему мнению, развиваются до глубин 700-900 км (по Х. Хессу). Поток флюидов, как считает В.А. Кирюхин, ориентирован по направлению от срединных хребтов и возвышенностей, в соответствии с гидродинамическим градиентом. Перидотиты мантии при температуре до 400 °С подвергаются серпентинизации с образованием массы конкреций железа, марганца, никеля, кобальта, хрома и др.

Диапиризм, проявляющийся в верхней части коры, видимо, имеет место и в глубоких недрах, стимулируемый разницей плотности пород разных слоев, гравитационной и плотностной неустойчивостью в отдельных интервалах недр. Не устойчивы, в частности, основания рифтовых зон, т.к. при их расширении и углублении изменяется геодинамическая обстановка с активизацией флюидов

как в области их питания, так и разгрузки с излиянием растворов и расплавов (магм). Формируются палингенно-анатектические образования. Диапиризм проявляется в гранитоидах, серпентинитах, галогенных толщах, глинах и в породах, способных приобретать пластичность в определенной термодинамической обстановке. В растворах-расплавах водный флюид играет ведущую роль, поскольку их продукты на контакте с толщами пород, которые они пересекают, не оставляют признаков метаморфизма. Это однозначно говорит о них, как осадках на стенках трещин, сформированных дизъюнктивными дислокациями без каких-либо прорывов.

Диапиризм сопровождается горизонтальными сжимающими напряжениями, характерными для конвергентных границ и зон коллизии, но он проявляется и автономно в виде чисто диапировых дислокаций. Гравитационная энергия у поверхности Земли может переходить в энергию кинетическую и порождать шарьяжи и складчатость. Роль подземных вод при этом, как и при формировании орогенов, недооценивается.

Седиментационная складчатость широко распространена. При оползнях на океанических склонах и на континентах она проявляется в виде гравитационных шарьяжей, олистостром и прочих образований. Примерами могут служить склоны впадины Сигсби с гравитационной складчатостью и Атлантическое побережье Бразилии с образованиями соскальзывающего частично осадочного чехла по юрской водоупорной соленосной толще. Здесь сочетаются гравитационные и тангенциальные деформации коллизионного генезиса, возникающие в результате горизонтального сжатия с последующим соскальзыванием по склону во взвешенном состоянии.

Энергетический баланс планеты некоторыми учеными видится не в качестве продукта обмена разных источников, как-то космические, экзогенные и эндогенные, а в качестве остаточного ресурса, который должен закончиться. Все источники обмена рассматриваются как убывающие. Это остаточное тепло аккреции планеты, тепло от гравитационной дифференциации, радиогенная энергия и тепло твердых приливов, гравита-

ционная неустойчивость, тепловая энергия, образуемая при трении внешнего и внутреннего ядра, мантии и ядра. Все источники энергии, за исключением радиации, невозможно пока оценить. Недостаточно данных об энергетических параметрах химических компонентов в условиях критической точки. Не раскрыта полностью взаимосвязь физических свойств элементов с их энергетическими параметрами в пределах и за пределами критической точки. Открытие надкритического состояния воды подтвердило положение Ван-Дер-Ваальса о взаимосвязи параметров объема и плотности химических веществ. Эти параметры в растворах-расплавах, т.е. в магмах, способны меняться в несколько раз с ростом давления и температуры из-за структурных преобразований в пределах химических форм и рядов движения материи. Развивая идеи Ван-Дер-Ваальса, эти вопросы частично раскрывают В.И. Полежаев и Е.Б. Соболева, рассматривая параметры околокритических жидкостей (Полежаев, Соболева, 2003).

Зоны неоднородности выявлены в мантии, земной коре, а также в ядре планеты (внешнем и внутреннем) томографическими и сейсмическими методами. Это объясняют структурными изменениями вещества. Необходимы постановка лабораторных, теоретических исследований и моделирование в этой области, чтобы выйти на новый уровень познания энергетики химической формы и движения материи. Поднимающиеся к границе Конрада флюиды содержат воду в надкритическом состоянии. У этой границы и в зонах разуплотнения в верхней и средней мантии, вплоть до 700–900 км, она переходит в гравитационное состояние. За счет уменьшения ее плотности при переходе в свободное состояние увеличивается ее объем как минимум на 50 % и более, вызывая землетрясения и другие эндогенные процессы, зафиксированные данными геофизики. При дальнейшем росте температуры и давления, видимо, имеют место дальнейшие видоизменения структуры химических веществ. Вероятно, что вода из надкритического состояния в нижней мантии и ядре Земли меняет свою структуру, несколько увеличивая свою плотность (таблица). Постановка исследований и моделирования в области структурно-

плотностных свойств химических веществ откроет новый этап НТР.

Характер преобразования соединений кислорода и водорода гидросферы в глубинных зонах Земли

1. Земная кора. Подземная гидросфера до границы Конрада представлена преимущественно <i>гравитационными водами</i>
2. Мантия над астеносферой
3. Астеносфера
4. Мантия под астеносферой. От границы Конрада до подошвы тектоносферы (700–900 км) распространены <i>воды в надкритическом состоянии</i>
5. Подошва нижней мантии (2900 км), содержащей <i>кислородно-водородные соединения повышенной плотности, способные переходить в зонах разуплотнения в воды надкритического состояния</i>
6. Ядро Земли с радиусом 3470 км содержит наряду с металлизированными компонентами относительно небольшое количество <i>кислородно-водородных соединений повышенной плотности, способных переходить в зонах разуплотнения в воды надкритического состояния</i>

Выводы

Теоретические и лабораторные исследования и моделирование свойств параметров химических компонентов при высоких температурах и давлениях, прежде всего водных флюидов, имеют как фундаментальное, так и большое практическое значение для выяснения вопросов формирования месторождений нефти и газа, подземных вод и других полезных ископаемых. В результате повысится эффективность добычи и переоценки эксплуатационных запасов полезных ископаемых, а также эффективность прогноза землетрясений и негативных геодинамических процессов. Это позволит резко снизить риски стихийных бедствий и катастроф.

Библиографический список

- Авсюк Ю.Н.* Приливные силы и природные процессы / ОИФЗ РАН. М., 1996. 184 с.
- Анисимов М.А.* Критические явления в жидкостях и жидких кристаллах. М., 1987. 272 с.
- Ваньян Л.Л., Павленкова Н.И.* Слой пониженной скорости и повышенной электропроводимости в основании верхней части коры Балтийского шита // Физика Земли. 2002. № 1. С. 1–9.

- Вернадский В.И.* История природных вод / Институт геол. наук НАН Украины; сост. В.М. Шестопапов, А.Ю. Моисеев, В.В. Гудзенко и др. Киев, 2012. 754 с. (Избранные тр. акад. В.И. Вернадского. Т. 6).
- Всеволожский В.А.* Основы гидрогеологии: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2007. 448 с.
- Гаев А.Я., Килин Ю.А., Савилова Е.Б., Маликова О.Н.* Фундаментальные и прикладные проблемы гидросферы. Ч. 1. Основы гидрогеологии: учеб. пособие. М.: Университетская книга, 2016. 160 с.
- Григорьев С.М.* Роль воды в образовании земной коры. М.: Недра, 1971. 264 с.
- Дубинин Е.П., Ушаков С.А.* Океанический рифтогенез. М.: ГЕОС, 2001. 293 с.
- Зверев В.П.* Подземные воды земной коры и геологические процессы. М.: Научный мир, 2006. 256 с.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И.* Палеогеодинамика. М.: Наука, 1993. 191 с.
- Кирюхин В.А.* Общая гидрогеология: учебник. СПб., 2008. 440 с.
- Мейнцер О.Э.* Учение о подземных водах / пер. с англ. М.: ОНТИ – НКТП, 1935. 240 с.
- Основы гидрогеологии:* в 6 т. / Е.В. Пиннекер и др. Новосибирск: Наука, 1980. Т. 1. 231 с.
- Павленкова Н.И.* Структурные особенности литосферы континентов и океанов и их природа // Геофизический журнал. Киев, 2019. Т. 41, № 2. С. 3–57.
- Павлов А.Н.* Геологический круговорот воды на Земле. Л.: Недра, 1977. 143 с.
- Полежаев В.И., Соболева Е.Б.* Гидродинамика околокритических жидкостей // Природа. 2003. № 10. С. 17–26.
- Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.* Развитие Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 506 с.
- Очерки дегазации Земли* / В.М. Шестопапов, А.Е. Лукин, В.А. Згонник, А.Н. Макаренко, Н.В. Ларин, А.С. Богуславский. Научно-инженерный центр радиогидрогеоэкологических полигонных исследований НАН Украины; Институт геологических наук НАН Украины. Киев, 2018. 632 с.
- Хаин В.Е.* Взаимодействие атмосферы, биосферы и литосферы – важнейший процесс в развитии Земли // Вестник РАН. 2007. №9. С. 794–797.
- Хаин В.Е., Ломизе М.Г.* Геотектоника с основами геодинамики: учебник. 2-е изд., испр. и доп. М.: КДУ, 2005. 560 с.
- Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2013. DOI:10.1073/pnas.1220301110. URL: chemport.ru.
- О параметрах околокритических жидкостей.* URL: <http://ecology.iem.ac.ru/>
- NASA: на Солнце существует вода.* URL: <http://earth-chronicles.ru/news/2014-11-19-73514>
- Grad M. & Luosto U.* Seismic models of the crust of the Baltic shield along the SVEKA profile in Finland // Annales geophysicae. Series B, 1987 P. 639–649.
- Haak V. & Hutten V. R. S.* Electrical resistivity in continental lower crust // Dawson J. B., Carswell D. A., Hall J. & Wedepohl K. H. (Eds.), The nature of the Lower Continental Crust (p. 35–49). Geol. Soc. London, 1986. Spec. Publ. p. 24.
- Jones A. G.* Electrical conductivity of the continental lower crust // Fountain D. M., Arculus R. & Kay R. W. (Eds.). Continental lower crust. Development in Geotectonics (p. 81–143). Elsevier. Stortvedt K. (1997). Our evolving planet: Earth history in new perspective. Bergen, Norway: Alma Mater, 1992. 456 p.

Representations and the Role of Water in the Geodynamics of the Planet

A.Ya. Gaev¹, M.Yu. Nesterenko², I.V. Kudelina³

¹ Institute of Environmental Problems of the Hydrosphere at OSU

13 Victory Ave, Orenburg 460018, Russia

² Orenburg Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

29 Embankment Str., Orenburg 460014, Russia

E-mail: gayev@mail.ru

Among the sources of energy of the geodynamics of the Earth, the energy sources associated with changes in the structure and density of chemical compounds, especially near the so-called critical point, are ignored, which is confirmed by the discovery of the “superwater” and the detection of water in sunspots. It became clear that water fluids in a supercritical state are in the mantle and core of the Earth. The transition of water to a supercritical state, in our opinion, occurs near the Conrad border, which is recorded by seismic in the absence of a difference in rock lithology. Research and modeling of the parameters of chemical components at high temperatures and pressures will provide an answer to the origin of changes in seismic velocity and density of rocks at different depths of the Earth, which will increase the efficiency of forecasting, prospecting, and exploration of minerals and mitigation of the negative geodynamic processes.

Key words: *energy sources; geological and geodynamic processes, earthquakes, structure of substances, critical points, water fluids*

References

- Avsyuk Yu.N.* Tidal forces and natural processes / Ed. OIFZ RAS. 1996. 184 s.
- Anisimov M.A.* Critical phenomena in liquids and liquid crystals. M.: Science. Ch. ed. Phys.-Math. lit., 1987. - 272 s,
- Vanyan L.L., Pavlenkova N.I.* A layer of reduced speed and increased electrical conductivity at the base of the upper crust of the Baltic Shield. // *Physics of the Earth*. 2002.No. 1. S. 1–9.
- Vernadsky V.I.* History of natural waters // Institute of Geol. sciences of NAS of Ukraine; comp.: V.M. Shestopalov, A.Yu. Moiseev, V.V. Gudzenko et al. - Kiev, 2012. -- 754 p. (Selected tr. Acad. V.I. Vernadsky, vol. 6)
- Vsevolozhsky V.A.* Fundamentals of hydrogeology: a textbook. - 2nd ed., Revised. and add. M.: Publishing house of Moscow State University, 2007. -- 448 p.
- Gaev A.Ya.* Fundamental and applied problems of the hydrosphere. Part 1. Fundamentals of hydrogeology: textbook. allowance / A.Ya. Gaev, Yu.A. Kilin, E.B. Savilova, O.N. Malikova. M.: University book, 2016. -- 160 p.
- Grigoryev S.M.* The role of water in the formation of the earth's crust. - M.: Nedra, 1971. - 264 p.
- Dubinina E.P., Ushakov S.A.* Ocean riftogenesis. M.: GEOS, 2001. -- 293 p.
- Zverev V.P.* Groundwater crust and geological processes. M.: Scientific World, 2006. - 254 p.
- Zonenshayn L.P., Kuzmin M.I.* Paleogeodiamic. M.: Nauka, 1993. -- 192 p.
- Kiryukhin V.A.* General hydrogeology: a textbook. V.A. Kiryukhin. SPb., 2008. -- 440 s.
- Mainzer O.E.* The doctrine of groundwater: Per. from English M.: ONTI - NKTP, 1935. -- 240 p.
- Fundamentals of hydrogeology: in 6 tons / E.V. Pin-necker and others. Novosibirsk: Nauka, 1980. V. 1. - 231 p.
- Pavlenkova N.I.* Structural features of the lithosphere of continents and oceans and their nature // *Geophysical Journal* No. 2, Vol. 41, Kiev, 2019. P. 3-57.
- Pavlov A.N.* The geological cycle of water on Earth. - L.: Nedra, 1977. -- 143 p.
- Polezhaev V.I., Soboleva E.B.* Hydrodynamics of near-critical liquids // *Priroda*, No. 10.2003. P. 17-26.
- Sorokhtin O.G., Ushakov S.A.* Earth evolution. M.: Publishing. Moscow State University, 2002
- Essays on the degassing of the earth.* V.M. Shestopalov, A.E. Lukin, V.A. Zgonnik, A.N. Makarenko, N.V. Larin, A.S. Boguslavsky. Scientific and Engineering Center of Radiohydrogeological Polygon Research NAS of Ukraine. Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine. K., 2018. -- 632 p.
- Hain V.E.* The interaction of the atmosphere, the biosphere and the lithosphere is the most important process in the development of the Earth // *Spring. RAS*, 2007, No. 9, S.794-797.
- Hain V.E., Lomize M.G.* Geotectonics with the basics of geodynamics: Textbook - 2nd ed. correct and add. M.: KDU, 2005. 560 s.
- Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013; DOI: 10.1073 / pnas.1220301110. Source - chemport.ru.
- About parameters of near-critical liquids* Link <http://ecology.iem.ac.ru/>
- NASA: There is water in the sun. Link <http://earth-chronicles.ru/news/2014-11-19-73514>
- Grad, M., & Luosto, U. (1987).* Seismic models of the crust of the Baltic shield along the SVEKA profile in Fin-land. *Annales geophysicae. Series B*, 639-649.
- Haak, V., & Hutten, V. R. S. (1986).* Electrical resistivity in continental lower crust. In J. B. Dawson, D. A. Carswell, J. Hall, & K. H. Wedepohl (Eds.), *The nature of the Lower Continental Crust* (pp. 35–49). Geol. Soc., London, Spec. Publ., 24.
- Jones, A. G. (1992).* Electrical conductivity of the continental lower crust. In D. M. Fountain, R. Arculus, & R. W. Kay (Eds.), *Continental lower crust. Development in Geotectonics* (pp. 81-143). Elsevier
- Storetvedt, K. (1997). *Our evolving planet: Earth history in new perspective*. Bergen, Norway: Alma Mater, 456 p.