

Реакция подземной гидросферы на деформационные процессы в литосфере Земли.*

Кузьмин Ю.Д.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН .г.Петропавлвск-Камчатский, kuzu@emsd.ru

Введение.

Вода – самое распространенное на Земле вещество, которое образует единую всепроникающую сферу нашей планеты - гидросферу. Под гидросферой понимают совокупность всех вод Земли, находящихся в твердом, жидком и газообразном состояниях. Условно гидросфера делится на поверхностную и подземную. Поверхностные воды составляют около 58, а подземные — около 42% всей массы гидросферы. Основную массу поверхностных вод составляют воды Мирового океана (97%) и малую долю вода, заключенная во льдах (2%), в реках и озерах (<1%). Подземные воды делятся на свободные (гравитационные) и связанные, которых в 3.8 раза больше, чем свободных. Основная масса связанной воды заключена в земной коре континентального типа. По отношению к массе гидросферы во всех ее проявлениях, масса связанной воды в земной коре составляет около 33%. Изменение массы воды, содержащейся в земной коре, в течение геологической истории Земли могло существенно влиять на интенсивность водообмена между поверхностными и подземными водами. Интенсивность водообмена в земной коре и в верхней мантии, в процессе эволюции Земли, определялась термодинамическими процессами и вторичным минералообразованием, что приводило к уменьшению проницаемости земной коры для различных растворов и газов, а также к увеличению ее плотности и мощности [12].

Согласно работе [13], масса природных вод, прошедших через поверхность земной коры в истории Земли, составила 2×10^{26} кг, т.е. на 5 порядков больше массы Мирового океана и на 4 порядка больше массы земной коры. Другой особенностью подземной гидросферы является, ее способность улавливать и аккумулировать все газовые компоненты дегазирующейся Земли, независимо от их генетической принадлежности, а весьма высокая потенциальная растворимость большинства газов определила планетарную газоемкость подземной гидросферы. [18]

В геологическом масштабе времени подземная гидросфера земной коры и верхней мантии является открытой системой, но на интервале наблюдений (годы - десятки лет) может рассматриваться как замкнутая система. Эта система очень динамична и чувствительна к изменениям внешней и, обладая значительной связанностью, позволяет регистрировать ее возмущения на значительном удалении от места их возникновения [19,3,4, 33].

При рассмотрении подземной гидросферы возникает вопрос о ее верхней и нижней границах. Очевидно, что верхней границей гидросферы является земная поверхность, а с определением нижней границы нет ясности, поскольку глубина проникновения воды в литосферу гипотетична и дискуссионна. Любые косвенные методы, используемые для получения информации о веществе глубже 13 км являются неоднозначными, а их результаты можно интерпретировать по-разному, в зависимости от знаний и приверженности исследователя к тем или иным представлениям. В работе [20] на основании литературных данных рассмотрен вопрос о нижней границе подземной гидросферы. Показано, что глубина этой границы может быть вплоть до 600 км.

Таким образом, можно предположить, что в верхней части литосферы, как единое целое, существует водосодержащая толща пород, которая имеет нижнюю границу, совпадающую с изотермической поверхностью 374°C с разноглубинным положением. Последнее обусловлено разной плотностью глубинного теплового потока и, как следствие, разным уровнем нагрева среды в каждом регионе. При этом, как показано в (5), силы, вызванные тепловыми процессами на глубине, будут больше гравитационных сил.

Основные свойства подземной гидросферы.

Рассмотрим качественно вопрос о веществе и процессах, протекающих в подземной гидросфере. Все геологические процессы в земной коре определяются наличием тепла и присутствием воды.

* Публикуется в дискуссионном порядке.

Необходимо учитывать, что в свободном состоянии вода, в отличие от твердого вещества, является изотропным веществом. По сейсмическим данным вещество земной коры находится в твердом состоянии, а увеличение скорости распространения сейсмических волн с глубиной говорит об увеличении плотности вещества, и, следовательно, об усилении роли его межмолекулярных взаимодействий с глубиной. Наличие воды, заполняющей трещинно-поровое пространство горных пород, позволяет рассматривать водонасыщенную толщу литосферы Земли, как каркасно-флюидитную систему [25], в которой каркас и флюидиты (флюиды вместе с флюидизированными текучим твердым веществом) образуют свои механо-динамические системы. Эти системы обладают определенной взаимозависимостью, которая выражается в том, что давление в них состоит из двух частей. Первая передается по скелету пород и связана с деформацией твердого вещества. Она инерционна и не может передать достаточно быстрые изменения давления. Вторая часть, обусловленная давлением подвижных флюидов, в основном воды, является динамичной и передает изменения давления, которые могут быть основными в распространении возмущений на большие расстояния. При этом реакция пород, содержащих свободную воду, на периодические, даже слабые приливные воздействия, должна существенно отличаться от реакции пород, в которых этой воды нет [22].

Отметим, что водонасыщенные породы земной коры являются средой с нелинейным откликом на периодические воздействия. В породах, где свободная вода отсутствует, слабые эффекты приливных воздействий не проявляются, и накопления деформаций не происходит [22]. По мнению авторов [23] «... сейсмическая граница на глубинах 60–80 км, разграничивающая разные типы землетрясений, одновременно является границей раздела событий, способных реагировать на внешние воздействия и не способных на такую реакцию», что с учетом свободной воды косвенно подтверждает наличие изотермической границы в 374°C .

Исходя из вышесказанного, в каркасно-флюидитной системе, которую можно представить локальной гидрогеодинамической системой, флюиды, где основную роль играет вода, будут реагировать на внешние и внутренние воздействия и, в частности, на гидрогеодеформационное поле. Важным свойством этого поля является его реакция на изменения напряженного состояния земной коры и верхней мантии [6]. Поэтому по гидрогеологическим параметрам среды, даже в сравнительно неглубоких водоносных горизонтах, можно судить о динамике подземной гидросферы. Основным свойством каркасно-флюидитных динамических систем также является их аномальная флюидопроводимость, обусловленная процессами разуплотнения пород, что сопровождается изменением их флюидонасыщенности и, как следствие, их электропроводности и упругих свойств [15].

Мы рассматриваем каркасно-флюидитную систему в геологическом масштабе времени, как открытую термодинамически неравновесную нелинейную самоорганизующуюся систему. Ее можно представить как систему с четырьмя взаимосвязанными параметрами в виде соотношения, как $PV \leftrightarrow ZT$, где P - давление, T - температура системы, V - ее объем, Z - физико-химические свойства вещества: магнитные, электрические, упругие и др., которые сложным образом изменяются во времени и с глубиной. Поэтому данные, полученные о веществе на поверхности земли и в лабораторных условиях, могут существенно отличаться от данных отражающих реальное состояние и состав вещества на глубине [8].

Характерным свойством пород земной коры и верхней мантии является их блочное строение, которое проявляется на разных масштабных уровнях от кристаллических зерен до блоков горных массивов, фиксируемых разноранговыми разломами [29]. Можно предположить, что взаимодействие этих блоков определенным образом связано с термодинамически неоднородной подземной гидросферой. Блоки данных массивов отделены друг от друга прослойками, которые состоят из измельченных (меланитизированных) пород, с прочностью меньшей прочности пород самих блоков. Уменьшение прочности этих прослоек происходит не только за счет измельчения вещества, но и в результате проникновения флюидов в прослойки, что сопровождается изменением физико-химических связей фрагментов пород, а следовательно, и их свойств пород. Взаимодействие

блоков, окруженных водонасыщенными прослойками, определяется их энергонасыщенностью и интенсивностью протекающих в них физико-химических процессов. Основным механизмом самоорганизации системы блоков связан с тем, что блоки, достигшие предела энергетической прочности, теряют устойчивость, сбрасывая избыток энергии в виде сейсмических волн, или консолидируются в новые системы, меняя конфигурацию, или разрушаются, образуя более мелкие отдельности [32]. Такая система способна обмениваться энергией и массой как внутри между составляющими блоками, так и с внешней средой. Происходящее, таким образом, перераспределение энергии при достаточной интенсивности ее поступления извне, может привести к неустойчивости всю систему блоков и, как результат, к вертикальному или горизонтальному смещению их относительно друг друга.

Разделенная на блоки водонасыщенная среда испытывала деформации и раньше. Сохранение блочного строения этой среды является результатом постоянного поступления энергии извне (действие силы Кориолиса, электромагнитного поля Земли и др.). В результате происходит постоянное деформирование среды, при котором она, благодаря своему расчленению, приобретает дополнительные степени свободы. Об интенсивности и глубине этих процессов свидетельствуют происходящие на разных глубинах землетрясения. По современным представлениям, блочная модель геофизической среды отличается от классической модели сплошной среды структурой и постоянной диссипацией подводимой извне не только механической энергии (30), но и энергией изменяющегося во времени корпускулярного потока Солнца, которая в электропроводящих слоях Земли преобразуется в тепло (21). Это позволяет рассматривать произвольно выделенный объем водонасыщенной геофизической среды в виде термодинамически открытой системы, в которой при деформировании блочной среды происходит взаимодействие и относительное смещение составляющих ее блоков (27, 31).

Таким образом, можно предположить, что любой замкнутый термоаномальный объем подземной гидросферы имеет характерные термодинамические параметры, определяемые тепловым потоком, свойствами, структурой и нарушенностью пород данного объема. Эти параметры определяют интенсивность взаимодействия между каркасом и флюидом, а также блоками данного термоаномального объема, что приводит к рассмотрению понятий литостатического (геостатического) и гидростатического давлений. Если гидростатическое давление рассматривается, как $P_g = \rho gh$ (ρ – плотность жидкости и газа, g – ускорение силы тяжести, h – глубина), то с понятием литостатического давления имеется некоторая неясность. Обычно под литостатическим давлением понимают давление вышележащих пород на нижележащие, и это давление оценивается по гидростатическому принципу. Изменение плотности вещества с глубиной определяется исходя из модели гидростатически вращающейся Земли, симметричной относительно оси вращения [1], что при рассмотрении этого априорно принятого предположения сомнительно. Н.Е.Мартьянов в 1968 г. [24], высказал сомнение об оценке литостатического давления по гидростатическому принципу и показал, что отношение сил гравитации к силам межатомных взаимодействий в твердом веществе, которые определяют его прочностные свойства, равно 4.17×10^{-42} . То есть, гравитационное поле, действующее в твердом теле, слабее сил межмолекулярных взаимодействий в 4.17×10^{42} раза. Также Н.Е.Мартьянов показал (24), что на глубинах 30-96 и 450-900 км вещество испытывает деформацию растяжения, и высказал предположение, что накапливания давления с глубиной не существует, а «Внутренние части планеты – есть области безраздельного господства сил междуатомных взаимодействий, где силы тяготения не могут иметь существенного значения. Твердость Земли исключает возможность относительного перемещения масс во внутренних объемах. Для реализации подкорковых течений и гравитационной дифференциации вещества, его необходимо, сначала расплавить, и, следовательно, если допустить, что перемещения масс имеют место, то их следует рассматривать не как источник, а как потребитель энергии Земли». Эти предположения хорошо согласуются с сейсмологией, но ставит под сомнение современное понятие литостатического давления по гидростатическому принципу. В реальных условиях отношение гравитационных сил к силам межатомных взаимодействий, в зависимости от состава, состояния и сплошности вещества, может значительно изменяться, что вызовет изменение его физико-химических параметров.

С учетом сказанного, давление в межблочном пространстве заполненным водонасыщенными прослойками на глубине, будет определяться как $P_{\text{общ}} = P_{\text{гст}} + P_{\text{изб}}$, где $P_{\text{гст}} = P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{раств. газов}}$. $P_{\text{гст}}$ - гидростатическое давление воды и растворенных в ней газов имеет постоянную составляющую с наложенным на нее различными колебаниями, вызванными лунно-солнечными приливами, действием циклонов и сил Кориолиса и др. $P_{\text{изб}} = P_{\text{блока}} + P_{\text{т}}$, т.е. $P_{\text{изб}}$ определяется давлением геоблоков на флюидитную систему с учетом давления, возникающего в закрытой термоградиентной системе за счет эндогенного теплового потока, экранируемого непроницаемыми в подземной гидросфере толщами метаморфизованных пород, а также геодинамическими процессами. [14, 16]. Это приводит к аномально высокому межблочному давлению, что согласуется с выводом работы [9], в которой отмечено, что «мерой мощности всех геодинамических процессов является геотермический поток тепла». Избыточное давление приведет к перемещению блоков (надвиги, взбросы, сбросы и т.д), что при потере устойчивости одного из них приведет к разрывам в осадочных породах. Это наглядно видно в эксперименте Хуберта и Руби [17] и подтверждается результатами наблюдений спутниковой геодезии [28], где показано, что при катастрофическом землетрясении в Японии 11 марта 2011 г. блок литосферы длиной около 600 км, шириной порядка 100 км испытал вертикальную подвижку до 8 -10 м на континентальном склоне острова Хонсю [2]. Такие смещения не удается адекватно объяснить с точки зрения классической теории тектоники плит. Они согласуются с предположением, высказанным в работе [26], « что земная кора является главной ареной встречи внутриземной и космической энергии, оказывающей влияние на геологическое развитие Земли, и что в глубинах Земли существует много различных «регуляторов» и «конденсаторов» геологической энергии, которая, в конечном счете, приводит к геологическим движениям». Одним из таких «конденсаторов» и «регуляторов» является подземная гидросфера.

Предложенный нами механизм деформирования блочной среды земной коры и верхней мантии с участием подземной гидросферы согласуется с мнением Г.П.Горшкова [10], что «источником подземного удара, т.е. непосредственной причиной землетрясения, его очагом, служит не тектонический разрыв, а более или менее крупный блок земной коры или верхней мантии, находящийся под напряжением эндогенного происхождения и сбрасывающий часть этого напряжения путем внезапной деформации или кратковременного смещения всей массы блока, со столь же внезапным прекращением этого процесса и переходом в новое состояние равновесия. Потенциальная энергия напряжения при этом освобождается, переходя в кинетическую энергию деформации – удара». Этот автор пришел к выводу [11], что: «Следует оставить широко распространенную, но ложную концепцию «очаг – разрыв» и перейти к более правильной, логичной и перспективной модели «очаг – объем». С помощью последней модели можно получить реальное представление о геологической обстановке и физических условиях развития механизма очага землетрясения и т. д.». Предложенный механизм деформирования подземной гидросферой блочной геологической среды может объяснить миграцию землетрясений и ротационные процессы в геологии [7].

Заключение.

Обобщение и анализ литературных данных позволяет сделать предположение, что разноранговые блоки земной коры и верхней мантии являются пассивными элементами в тектонической деятельности нашей планеты. Активной составляющей (движителем) тектонических процессов служит термодинамически неоднородная подземная гидросфера, которая воспринимает, преобразует и аккумулирует поступающую извне энергию. Гидросфера имеет непроницаемые в земной коре экраны, которые, изолируя отдельные объемы, создают в них избыточные давления. При этом неоднородные по температуре межблочные водонасыщенные прослойки определяют разные величины избыточного давления. Избыточное давление приводит к перемещению блоков земной коры, потере их устойчивости и появлению разрывов в осадочных породах.

Таким образом, подземная гидросфера: участвует в формировании структурно-тектонических и гидротермодинамических неоднородностей, что в свою очередь позволяет регулировать активность и динамику глубинных процессов; является главным резервуаром накопления дегазируемых газов земной коры и верхней мантии; участвует в формировании очагов землетрясений и тектонической деятельности Земли.

Список литературы.

1. К.Е. Буллен. Плотность Земли. Мир. М. 1978. 442 с
2. Л.М.Балакина. О землетрясении 11 марта 2011 года у северо-восточного побережья острова Хонсю. //Физика Земли, 2011. №9 с. 91 -102
3. Верховланцев Ф.Г., Белевская М.А.. О влиянии крупных землетрясений на сейсмическую активность в рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей (на примере ОАО «Сильвинит») //Материалы Третьей Международной сейсмологической школы Кисловодск, 20 – 24 октября 2008г. с.30 -33.
4. Вартанян Г.С., Куликов Г.В. О глобальном гидрогеодеформационном поле Земли // Советская геология. – 1983. 5. с.116 -125
5. Г.С. Вартанян. Флюидосфера и эндодренажные системы Земли как ведущие факторы геологической эволюции. // Отечественная геология, 2000, №6, 14 -22.
6. Г.С. Вартанян, Г.В.Куликов. Гидрогеодеформационное поле Земли. ДАН, 1982, т.262, с.310 -314
7. Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Петропавлвск-Камчатский: Изд-во КамГУ им.Витуса Беринга, 2008, 463 с.
8. И.Л. Гуфельд, М.И.Матвеева, О.Н. Новоселов. Почему мы не можем осуществить прогноз сильных коровых землетрясений. М.: МГУЛ, 2012 – 108 с.
9. Г.С.Голицин. Землетрясения с точки зрения теории подобия. //ДАН, 1996, т.346, №4, с.536 -539
10. Г.П.Горшков. Об очаге землетрясения. Вестн. Моск. Ун-та. Сер 4. геология, 1963, №2 3 -14
11. Г.П.Горшков. Г.П.Горшков. Региональная сейсмотектоника территории юга СССР. Альпийский пояс. – М.: Наука, 1984. 270 с
12. В.Ф.Дерпгольц. Мир воды. «Недра». Л., 1979.
13. В.П.Зверев. Массопотоки подземной гидросферы. М.: «Наука», 1999.-97 с.
14. Иванов С.Н. Непроницаемая зона на границе верхней и средней части земной коры. ФЗ, 1999, №9, 96 -102.
15. И.Г.Киссин. Флюидонасыщенность земной коры, электропроводность, сейсмичность. //ФЗ,1996,№4, с.30 – 40.
16. Киссин И.Г. Некоторые вопросы флюидного режима земной коры: умозрительные построения и факты. // ФЗ, 1999, «9, с. 103 -108.
17. И.Г.Киссин Вода под землей, М.: Наука, 1976
18. Корценштейн В.Н. Растворенные газы подземной гидросферы Земли. –М.: Недра, 1984. -230с.
19. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Отклик уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, на Суматра-Адаманское землетрясение 26 декабря 2004 г., М=9 // Вулканология и сейсмология. – 2007.-№5. – с, 39 – 48.
20. Кузьмин Ю.Д. Гидротермальная система как газотермодинамический индикатор деформационных процессов в земной коре. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавлвск-Камчатский. 9 -15 октября 2011. Обнинск: ГС РАН, 2011. – 486 с
21. Ю.Д.Кузьмин, В.И.Белоусов, В.Г.Сахно. Новый взгляд на Землю и процессы происходящие на ее поверхности и в глубине. // Вестник ДВО РАН, 2001, №5, 106 – 12
22. Б.В.Левин, Е.В.Сасорова. Сейсмичность Тихоокеанского региона: выявление глобальных закономерностей. – М.: Янус-К, 2012. – 308 с.)
23. Б.В.Левин, Е.В.Сасорова, М.В.Родкин. Роль воды в подготовке коровых землетрясений. // Вестник ДВО РАН, 2008, №6, 3 -9
24. Н.Е.Мартьянов. Энергия Земли. Западно-Сибирское издательство. Новосибирск. 1968 г. 85с.
25. Поспелов Г.Л. Проблемы эндогенной динамической флюидитологии. //Геология и геофизика, 1969, №11, 3–20.
26. Поспелов Г.Л. Об «очаговой зоне» земной коры, «магматической короне Земли», « ареалах магматизма» и «структурных ассоциациях интрузивов». // Изв. АН СССР. Сер. геолог. 1959. №3, 3-9
27. Резниченко Ю.В. О связи энергии максимальных землетрясений с сейсмической активностью. //ДАН. 1964, т.157, №6, 1352 – 135421,
28. Е.А.Рогожин. Землетрясение Тохоку 11.03.2011 (М=9.0) в Японии: тектоническая позиция очага, макросейсмические, сейсмологические и геодинамические проявления. //Геотектоника, 2011. №5, с.3-16.
29. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы. // ДАН СССР. – 1979, т.247, №4
30. М.А.Садовский, В.Ф.Писаренко, В.Н.Родионов. От сейсмологии к геомеханике. О модели геофизической среды. // Вестник АН СССР, 1983, «1, 82 -88
31. М.А.Садовский, Г.Г.Кочарян, В.Н.Родионов. О механике блочного горного массива. //ДАН, 1988, т. 302, №2, 306 -308
32. М.А.Садовский, Ю.Н.Авсюк. Глобальные изменения природной среды и варианты объяснения наблюдаемых аномалий в рамках современных геодинамических моделей. // Глобальные изменения природной среды и климата. Избранные научные труды. Под ред. Н.П.Лаверова. М.: Мин-во науки и технологий. 1997, 52 - 78.
33. By Robert C. Vorhis. Hydrologic Effects of the Earthquake of March 27, 1964 Outside Alaska. //Geological survey professional paper 544 – с 60 p