

УДК 551.2.03

DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art36

## ДЕГАЗАЦИЯ ЗЕМЛИ – ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДО ОБРАЗОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ФЛЮИДНОГО ГЕНЕЗИСА

Кузин А.М., ИПНГ РАН

E-mail: amkouzin@yandex.com

**Аннотация.** Дегазация – это источник преобразования литосферы и эволюции планеты. Она играет главную роль в магматизме (вулканизме), сейсмичности, образовании месторождений флюидного (рудная минерализация и углеводороды) генезиса. В статье обосновывается общий методологический подход к изучению геологических процессов и явлений, непосредственно связанных дегазацией Земли. Показана роль сейсмического метода в изучении преобразований геологической среды вследствие дегазации

**Ключевые слова:** дегазация, землетрясения, вулканизм, интерпретация сейсмических данных, скорости сейсмических волн, месторождения флюидного генезиса.

## THE EARTH DEGASSING FROM EARTHQUAKES TO FORMATION OF FLUID GENESIS NATURAL RESOURCE DEPOSITS

Kouzin A.M., OGRI RAS

E-mail: amkouzin@yandex.com

**Abstract.** Degassing is a source of lithosphere transformation and planet evolution. It plays a major role in magmatism (volcanism), seismicity, formation of fluid genesis deposits (ore mineralization and hydrocarbons). The article substantiates general methodological approach to the study of geological processes and phenomena directly related to the degassing of the Earth. The role of the seismic method in the study of geological environment transformations due to degassing is shown.

**Keywords:** degassing, earthquakes, volcanism, seismic data interpretation, seismic waves velocities, fluid genesis deposits.

Начиная с середины XX века, исследования по дегазации Земли стало приобретать в геологии системный характер. В первую очередь это было связано с именем П.Н. Кропоткина, открывшего углеводородную холодную дегазацию Земли. Примерно тот же период Д.С. Коржинским была установлена главенствующая роль водорода и восстановленных флюидов (горячая ветвь дегазации), предопределяющих образование

«сквозьмагматических растворов», которые непосредственно оказывают влияние на магматические (пневматолические), метасоматические (гидротермально-метасоматические) процессы. Тем самым определяющей стала роль восстановленных флюидов в процессах геологического развития земли и частности образования месторождений углеводородов и рудной минерализации. В последующем выяснилось, что в холодной и горячей ветвях дегазации Земли проявляется конвергентность (сходимость) - общая закономерность развития геологической среды [Кузин, 2017]. Это позволяет на общей методологической основе рассматривать процессы и явления при дегазации недр.

О масштабах дегазации свидетельствуют результаты сейсмологического мониторинга  $V_p/V_s$  в акватории Тихого океана около Камчатского полуострова (Л.Б. Славина, 2011 г.). На площади в сотни квадратных километров наблюдается рост аномалии пониженных значений  $V_p/V_s$  (отношение скорости продольной волны к поперечной). В тектонике региональные вихревые структуры стали известны с середины прошлого века. Кольцевые и вихревые структуры генетически связываются с восходящей миграцией флюидных потоков. Они были выделены в различных тектонических провинциях. Наряду с вертикальной траекторией очагов землетрясений, наблюдается ее вихревой характер при современных крупнейших сейсмических событиях. Вращательные движения очагов отмечались для Крымского (1927), Ашхабадского (1948), Спитакского (1988) землетрясений.

Одним из общих процессов, наблюдаемых при горячей и холодной дегазации, является сейсмический процесс. Повышенная сейсмичность фиксируется на многих месторождениях флюидного генезиса, а также на угольных месторождениях. Анализ моделей подготовки тектонических землетрясений с позиции механизмов накопления и диссипации упругой энергии показал наличие двух классов моделей [Добровольский, 2009]. Первый класс составляют модели с механизмом консолидации – формирования события, при этом происходит накопление упругой энергии, второй – с механизмом деструкции, когда происходит расход энергии. Накопление и расход упругой энергии связаны с деформациями среды. При этом во всех моделях ведущими признаются механические процессы, флюидный фактор рассматривается как сопутствующий.

Масштаб изучения очаговых зон составляет десятки, а прогнозных признаков – сотни км. Поэтому прогнозные оценки в основном носят статистический характер по времени и пространству. Для выявления взаимосвязи геофизических и геохимических и

аномалий по другим методам как признаков зарождения сейсмического события необходимы по крайней мере близкие масштабы наблюдений. Учитывая, что в природе всегда действует принцип наименьшего действия (Мопертюи–Гамильтона), факторы для сейсмичности на месторождениях полезных ископаемых будут в той или иной мере соответствовать факторам возникновения землетрясений в земной коре. В основу подхода положен тезис о едином подходе к интерпретации сейсмического поля для перечисленных геологических явлений.

Месторождения полезных ископаемых наиболее полно изучены геофизическими (сейсмическими) и геологическими методами в различных регионах и масштабах по сравнению со всеми другими геологическими структурами и явлениями. Это позволяет строить модели процессов и явлений, основанные на разнообразных и согласованных данных. Повышенная сейсмичность наблюдается на ряде месторождений (углеводородов и рудной минерализации) флюидного генезиса в различных по истории развития и составу комплексах пород. О корреляции сейсмичности с рудными месторождениями эндогенного происхождения известно достаточно давно [Goldberg et al., 2007; Sibson, 1987]. Сейсмические события регулярно фиксируются в рудных узлах Воронежского кристаллического массива, Хибин и др. Совсем недавно недалеко от крупных рудных месторождений произошли два сильнейших Тувинских землетрясения (27.12.2011 г. и 26.02.2012 г.), соответственно, магнитудой 6,6 и 6,7, в хребте Академика Обручева, в 100 км к северо-востоку от Кызыла, на глубине 10 км. Для углеводородов наведенная сейсмичность применительно к крупным газовым месторождениям (землетрясения 1976 и 1984 гг. в районе Газли) может стимулироваться внедрением больших масс воды в пласты, ранее заполненные более легким газом, что приводит к изменению напряженно-деформированного состояния блока земной коры [Киссин, 1985]. Сейсмические события регулярно фиксируются на Ромашкинском месторождении (Южно-Татарский свод), на Тенгизском месторождении 21 февраля 2011 г. произошло землетрясение на глубине 30 км [Лобковский и др., 2013].

Непосредственно в механически жестких геологических образованиях (или около них) происходит локализация очагов землетрясений, магматизма и/или вулканизма, формирование месторождений полезных ископаемых флюидного генезиса [Кузин, 2007, 2009, 2015]. На границах или в самой жесткой неоднородности концентрируется и диссипирует в окружающее пространство упругая энергия, которая трансформируется в

физико-химические реакции. Причем, сам резервуар является, как правило, механически жесткой структурой. К жестким неоднородностям относятся массивы интрузивных и карбонатных пород, рифогенные тела, зоны гидротермально-метасоматически измененных пород, а также структуры, образовавшиеся при неупругом деформировании. По данным реологических испытаний образцов пород различного состава было замечено, что не во всех породах перед разрушением наблюдается увеличение  $V_s$ , а лишь в тех, которые были предварительно пластически деформированы [Воларович и др., 1979]. Такое возрастание жесткости образца рассматривалось по аналогии с дислокационным упрочнением, в данном случае трещины блокировали рост друг друга. В экспериментальных опытах по исследованию формирования узлов разломов [Ружич, 1986] перед образованием поперечной трещины происходило упрочнение материала модели, что объяснить локализацию флюидов в узлах разломов. Многочисленные геолого-геофизические данные полевых, лабораторных исследований и математическое моделирование свидетельствуют, что упрочнение – это закономерное явление при деформировании пород в разрывных нарушениях. По сейсмическим данным зоны упрочнения могут отвечать относительно низкие значения отношения скоростей ( $V_p/V_s$ ), ярким примером могут служить биогенные структуры (риффы), зоны разрывных нарушений. Видимо, каждое разрывное нарушение, имеющие зону упрочнения может рассматриваться как потенциально сейсмогенное. Однако сейсмический процесс наблюдается не во всех тектонически активных районах, это означает, что существуют особые, дополнительные условия реализации сейсмического процесса. К таким условиям относится присутствие газовой фазы флюида, способствующей накоплению упругой энергии в массиве пород. Следовательно, повышение жесткости (упругости) массива может быть связано с дислокационным, дилансионным упрочнением, а также присутствием газа в пористо-трещинном пространстве горных пород.

В настоящее время присутствие значительной доли газов установлено для различных типов рудных месторождений. Среди газовых компонентов ведущую роль играет углекислота, обнаруженная в 90% флюидных включений минералов гидротермального генезиса, на втором месте – метан, третье занимает азот, значительно реже обнаруживаются  $H_2S$  и  $CnHm$ , при этом  $H_2$  и  $CO$  встречаются еще реже [Наумов, Миронова, 2009]. Результаты изучения газо-флюидных включений указывают на то, что рудная минерализация переносится преимущественно в составе газовой фазы [Волков,

Сидоров, 2010; Наумов, Миронова, 2009]. Эта закономерность согласуется с данными анализа содержания металлов в современных бассейнах, приведенными в [Петренко и др., 1985]. Оказалось, что в газоконденсатных парогазовых смесях растворено значительно большее количество веществ, чем в нефтях. При сопоставлении суммарного количества одних и тех же элементов (Fe, Na, Mn, V, Cr, Co, Br, J и др.) было установлено, что в парах воды содержится в 16,7 раза больше элементов по сравнению с парами углеводородов. В Южно-Каспийской впадине вверх по разрезу мигрировало от  $390 \cdot 10^{12}$  до  $2,6 \cdot 10^{15} \text{ м}^3$  природных газов. При глубине 10 км, давлении 170 МПа, температуре 533 К и влагоемкости газов  $89 \text{ см}^3/\text{м}^3$  объем переносимых паров воды составляет  $35\text{--}230 \text{ км}^3$  (в пересчете на жидкую воду). В этом случае даже при низкой растворимости паров воды в  $385,9 \text{ мг/л}$  было перенесено от 13,5 до 88,8 млн тонн веществ в паровой фазе.

Узкие интервалы аномально низких значений  $V_p/V_s$  в зонах разломах можно интерпретировать дилатансионным упрочнением, то протяженные (более одного км) нелинейные по форме зоны аномальных значений  $V_p/V_s$ , в частности для зон развития натриевых метасоматитов (Украинский кристаллический щит), могут быть объяснены только газонасыщенностью трещин пород [Кузин, 2012]. На крупном урановом месторождении в пределах Новоконстантиновского рудного поля (УКЩ) неоднократно фиксировались газопроявления, которые сопровождалось возгоранием метана [Лукин, 2011]. Помимо того, Кировоградский тектонический блок УКЩ и Кокчетавский массив (залежи урана в натриевых метасоматитах) являются еще и алмазоносными и золотоносными областями. Следовательно, образование зон с аномально низкими значениями  $V_p/V_s$  отражает общее свойство – перенос рудного вещества в составе газовой фазы флюида.

С большой долей вероятности газовая фаза флюида определяет характер распределения значений  $V_p/V_s$ , полученных по данным ГСЗ. Так, тепловая аномалия под озером Байкал, которую интерпретируют как магматическую камеру на разрезе профиля ГСЗ «Рифт», представлена блоком с пониженными значениями  $V_p/V_s$ . Это может означать, что в магматической камере сохраняется жесткость каркаса резервуара и присутствует газообразная фаза флюида [Кузин, 2012].

Основными причинами подъема магмы являются следующие: подъем расплавленного слоя по механизму зонного плавления, вскипания магм (выделение содержащихся в них газов); тектоническое давление; избыточное давление, возникающее

из-за увеличения объема при плавлении; плавучесть магм, для земной коры предпочтительным считается вскипание магмы [Федотов, 2006]. С увеличением содержания углекислоты, приблизительно с 3 вес.%  $H_2O$  и 5 вес.%  $CO_2$  кипение основных магм должно начаться на глубинах 10–25 км [Кадик, 1974]. По мнению Х. Раства, вулканические газы должны рассматриваться в качестве причины, приводящей в движение сам механизм извержения. При этом не существует определенных соотношений между составом газов. Состав газов от одной вулканической области к другой часто меняется и может колебаться даже для отдельного вулкана [Раст, 1982]. Таким образом, критичным является не состав газов, а присутствие самой газовой фазы флюида.

В целом, наблюдается значительное сходство сейсмических разрезов консолидированной коры по  $V_p/V_s$  в рудных и нефтегазоносных районах. На сейсмических разрезах под месторождениями присутствуют блоки с пониженными значениями  $V_p/V_s$  [Кузин, 2009]. На многих рудных месторождениях фиксируется интенсивный поток газов (явление струйной миграции), например, в Хибинах [Хитаров и др., 1979].

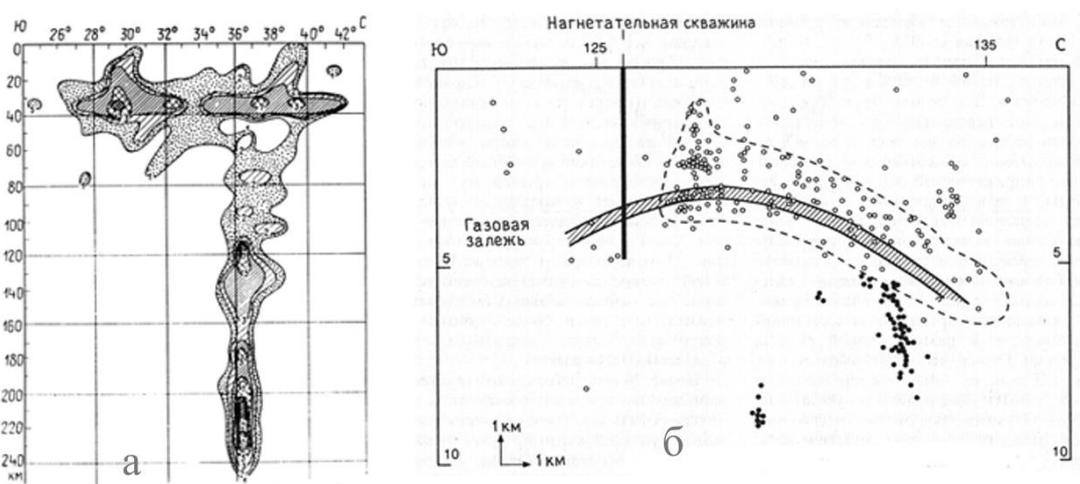


Рис. 1. а - Распределение плотности очагов землетрясений в литосфере Индо-Памиро-Гималайского региона, согласно [Шукин, Люстих; 1981], с сокращениями; б - Вертикальный разрез через залежь газового месторождения Лак. Черными кружками обозначены гипоцентры сейсмических событий, которые ниже залежи, белыми кружками – гипоцентры выше залежи [Грассо и др., 1994]

На месторождениях углеводородов газонасыщенность также является основным фактором возникновения сейсмического процесса. Для газового месторождения Лак (рис. 1б) сопоставление сейсмической активности, времени добычи и величины падения давления в коллекторе и расстояния от добывающей скважины до зоны разлома

позволило сделать вывод, что уменьшение сейсмической активности вблизи Северо-Пиренейского разлома находит свое объяснение в связи с добычей газа. Закрытые разрывные нарушения в течение какого-то периода времени способны накапливать тектонические напряжения. Затем, при достижении предела насыщения упругой энергией, происходит разгрузка в виде сейсмических событий, приуроченных к Пиренейскому разлому [Грассо и др., 1994]. Интересно отметить, что между сейсмогенными зонами наблюдается подобие, несмотря на огромное различие в масштабах (рис. 1). Для месторождений Лак и Газли экспериментально доказано, что они расположены на асейсмических тектонических блоках. Под асейсмичностью для тектонических блоков подразумевается их устойчивость к воздействию волн деформаций и напряжений. При миграции газа в вышележающие слои происходит увеличение его объема. Например, если газ поднимается с глубины 5 км на глубину 10 м от поверхности Земли, то его объем увеличится в 140 раз. Изменение объема газа под воздействием тектонических процессов приводит к изменению газонасыщенности пород и, соответственно, их плотности, что является причиной изменения силы тяжести [Акимова, Волгина, 1993]. Таким образом, накопление упругой энергии обеспечивается механически жесткой структурой.

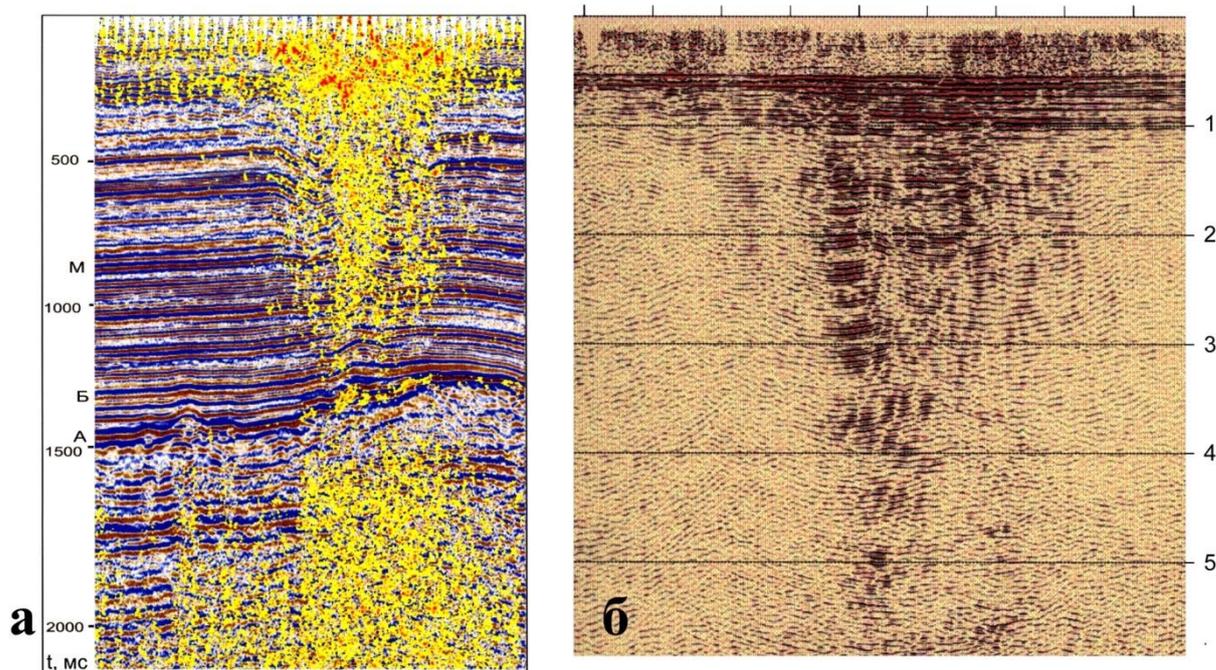


Рис. 2. а - Временной разрез. Типы возможных каналов вертикальной миграции флюидов. Западная Сибирь. Приуральская НГО Красноленинский свод Нефтегазоконденсатное месторождение. Динамически слабоинтенсивная аномалия сейсмической записи (По материалам С.Р. Бембеля, 2011); б – фрагмент временного мигрированного разреза (геотраверс Татсей)

Исследования, связанные с прогнозированием выбросов пород и газа в горных выработках, подтверждают роль газонасыщения как источника потенциальной энергии. Средние значения открытой пористости выбросоопасных (ВО) песчаников колеблются в пределах 6–10%, невыбросоопасных (НВО) в пределах 3–7% [Гречухин и др., 1995]. При этом ВО песчаники отличаются от НВО песчаников фильтрационными свойствами. При гидростатическом давлении 5 МПа коэффициент фильтрации у НВО песчаника на десятичный порядок превосходит этот показатель у ВО песчаника. При увеличении давления до 50 МПа разница составляет два порядка [Ставрогин, Тарасов, 2001]. Сравнительный анализ строения флюидоактивной зоны угольного разреза [Труфанов и др. 2004] с распределением вдоль неё значений коэффициента Пуассона [Хохлов, 1993] показал хорошее совпадение зоны уплотненного, науглероженного, слабопроницаемого угля (зона бронирования) с наиболее низкими значениями коэффициента Пуассона. Здесь отмечается максимум содержания рудных элементов, что подтверждает генетическую общность процесса накопления рудной минерализации, связанную с газовой фазой флюида.

Как уже отмечалось выше, под газовыми, газоконденсатными и нефтяными месторождениями располагается тело, более упругое или жесткое относительно вмещающей среды. Ромашкинское нефтяное месторождение служит примером проявления сейсмичности в породах кристаллического фундамента. По данным интерпретации профиля ГСЗ «Мелеуз-Черемшан» под этим месторождением была выявлена более значительная по размерам высокоскоростная аномалия Р-волн [Краснопевцева, Кузин, 2008], аналогичная закономерность наблюдается для месторождений углеводородов на профиле ГСЗ «Волгоград-Нахичевань» [Краснопевцева, Кузин, 2009]. В верхней части консолидированной коры нефтеносных районов по данным ГСЗ характерно преобладание относительно повышенных значений  $V_p/V_s$  (относительно повышенные значения  $V_p$ ) [Кузин, 2011]. Из анализа результатов лабораторных определений скорости было установлено, что диапазон изменения значений  $V_p/V_s$  от содержания кремнезема меньше, чем от содержания воды [Кузин, 2011]. Отсюда, более вероятным будет влияние на значения  $V_p/V_s$  воды, чем кремнезема. На временных разрезах МОГТ, проходящих в пределах этого нефтеносного района (Южно-Татарский свод), нередко наблюдаются вертикальные зоны интенсивной сейсмической записи (рис. 2б), которые интерпретируются [Кузин, 2011] как зоны разрывных нарушений,

содержащих воду. Их образование связано с тем, что вода уменьшает рассеяние сейсмических волн на неоднородностях. Эти зоны можно рассматривать как каналы инфильтрации воды в породы фундамента. На рис. 2а представлен разрезе с разрывным нарушением, по которому мигрирует газ.

Обобщение данных по условиям залегания месторождений нефти позволило прийти к выводу, что генетически образование нефти тесно взаимосвязано с конвективными гидротермальными системами. Именно присутствие такой гидротермальной системы позволяет объяснить образование месторождений нефти в различных по геологическому строению и возрасту регионах [Кузин, 2011]. По данным бурения глубоких скважин в пределах Ромашкинского месторождения в разрывных нарушениях фундамента наблюдается чередование зон повышенного поглощения бурового раствора и зон выделения газа. Аналогичные области конвекции были выделены в фундаменте под другими месторождениями нефти.

Интенсивная конвекция может иметь место преимущественно в зонах разрывных нарушений глубокого заложения. Сравнение геотермических данных по нефтеносным блокам и блокам, не содержащим залежи, показало, что первые представляют собой сочетание изометричных областей повышенных и пониженных значений теплового потока, вторым свойственна однородность геотемператур и геотермических потоков. Это указывает на присутствие конвекции в нефтеносных районах [Сардаров, 1989].

Для месторождений алмазов и всех типов (за исключением россыпных) рудных месторождений, а это: магматических, пегматитовых, карбонатитовых скарновых, альбититовых и грейзеновые, гидротермальные (более 80% рудных месторождений относится к гидротермально-метасоматическому типу), гидротермально-осадочные, осадочные и метаморфогенные в процессе их образования присутствует вода. При этом большая её часть имеет вадозное происхождение. Так для вулканогенно-гидротермального типа месторождений доля ювенильной воды составляет не более 5-10%, видимо такое же приблизительно количество ювенильной воды участвует в образовании других типов эндогенных рудных месторождений. Месторождения всех этих типов находятся в зонах действиях конвективных ячеек или точнее конвективных гидротермальных систем, различного масштаба и интенсивности [Синяков, 1987].

Вода характеризуется двумя фундаментальными свойствами, позволяющими ей играть главную роль в коровой сейсмичности, это – сочетание большой по величине

диэлектрической проницаемости и на порядок большей сжимаемости по отношению к горным породам. В отличие от газа вода обладает в десятки раз большей диэлектрической постоянной, за счет этого она проникает в межзеренное пространство (при больших давлениях в кристаллическую решетку) минералов и способствует разрушению горной породы без приложения внешнего напряжения. Эффект уменьшения прочности твердого тела в результате адсорбции, хемосорбции, смачивания и других физико-химических взаимодействий (эффект П.А. Ребиндера) установлен для твердых тел разного состава. Этот эффект вызван уменьшением свободной поверхностной энергии на границе жидкости и твердого тела.

Накопилось значительное число фактов о взаимосвязи между сейсмическими событиями и изменением уровня воды в мировом океане, в закрытых, континентальных бассейнах, уровня грунтовых вод [Добровольский, 2009; Уломов, 2007]. Например, конвекция воды отмечена перед Ашхабадским землетрясением (1948 г.). В радиусе до 90 км от эпицентра наблюдалось понижение уровня грунтовых вод. Установлен факт миграции «волны» аномального снижения уровня грунтовых вод со скоростью 5 км/с в сторону эпицентра землетрясения. Снижение уровня грунтовых вод сопровождалось аномальным понижением температуры (на 2,5–2,8°C) [Милькис, 1984].

Наиболее вероятными процессами, способствующими инфильтрации, считаются метаморфическая дегидратация и тектоническая деформация [Киссин, 2009]. При этом предпочтение отдается дегидратации, так как при дегидратации уменьшается объем скелета породы [Маракушев, 1968]. При глубинах очагов приблизительно 10–14 км, возможно, вода поступает за счет дегидратации при выделении тепла в процессе неупругого деформирования водосодержащих пород [Йодер, 1979].

Одним из необходимых условий образования вулканизма является наличие в областях тектонической активизации зон пониженных литостатических давлений, в которые поступает вода. По данным, приведенным в работе [Федотов, 2006], конвективный тепловой поток вулканов Камчатки, отнесенный к площади кальдеры, составляет  $(100 \pm 50) \times 10^{-6}$  кал/см в сек. Следует отметить, что область относительно пониженных литостатических давлений была выделена на нефтяном месторождении Тенгиз, она прослеживается до глубин 15–18 км [Гарагаш и др., 1992].

Очевидно, что модель сейсмического процесса в земной коре должна включать раздельное и общее влияние на среду флюидных фаз, газообразная фаза отвечает за

накопление упругой энергии, жидкая – за ее диссипацию. Фактические данные подтверждают различные функции жидкой и газообразной фаз флюида в организации сейсмического процесса. По данным исследований [Гречухин и др., 1995], влажность выбросоопасных песчаников в два раза меньше, чем невыбросоопасных. Можно представить следующий сценарий участия флюида в сейсмическом процессе. Газообразная фаза, заполняя поры и трещины, обеспечивает накопление упругой энергии и импульсный характер ее выделения. Именно газовая составляющая дегазации Земли формирует энергетический «заряд» и пространственное «постоянство» сейсмичности. Возможен также сценарий, когда в области будущего очага помимо газа начнет накапливаться вода, тогда возникновение сейсмического события будет определяться внутренними факторами. Жидкая фаза создает гидравлическую связь между целиками массива пород, передает аномально высокое давление в вышележающие горизонты и в то же время уменьшает сцепление на контакте отдельных зерен, увеличивая вероятность проскальзывания. В общем случае тектоническая активизация меняет баланс между газообразной и жидкой фазами флюида на определенных глубинных уровнях земной коры и может привести к сейсмическому событию.

Сейсмичность может рассматриваться с позиции нафторудогенеза как сопутствующий процесс при образовании месторождений флюидного генезиса [Кузин, 2015]. Веским доводом в подтверждение тесной взаимосвязи сейсмического процесса и режима формирования месторождений флюидного генезиса служат данные по степенному закону распределения запасов в месторождениях, отвечающие модели лавинообразного процесса образования этих месторождений [Родкин и др., 2010]. Возможно, основное отличие процесса накопления рудной минерализации от углеводородов (помимо температуры) заключается в прекращении функционирования конвективной гидротермальной системы, отсутствии экрана для теплового потока в виде осадочного чехла.

В общем виде модель, основанная на различии воздействия флюида в газообразной и жидкой фазах, была предложена в работах [Кузин, 2015, 2017]. В процессе дегазации Земли в коре происходит накопление газовой фазы флюида и образование жидкой фазы за счет реакции водорода с кислородом. Жидкая фаза флюида (вода) обеспечивает снижение порогового значения для сейсмического события. Чем интенсивнее газонасыщение среды при тектонической активизации, тем реальнее сейсмическое событие. Насыщение

геологических структур газом ведет к потенциальной сейсмоопасности территорий. В качестве таких примеров можно назвать Кольский п-ов, Кандалакшский грабен, северное и северо-восточное Приазовье. Изучение областей газовыделения, глубинной инфильтрации воды совместно с применением активных и пассивных сейсмических методов может позволить разработать надежные, основанные на физике процесса, прогнозные признаки, а также уменьшить статистическую составляющую в основе оценки прогноза.

### **Заключение**

I. Дегазация Земли лежит в основе проявлений сейсмичности (землетрясений), вулканизма (магматизма) и образования месторождений флюидного генезиса

Этим явлениям и процессам свойственны следующие общие черты. Процессы происходят на границе разноупругих сред, в более твердой или упругой среде. Газообразный «сухой» флюид определяет накопление избыточной упругой энергии, «водный» флюид – порог ее диссипации. Процессы образования месторождений и сейсмичности являются импульсным откликом на тектоническую активизацию геологической среды.

II. Тектоническая активизация и дегазация Земли и в последующем конвекция определяют возникновение сейсмического процесса; образование месторождений полезных ископаемых флюидного генезиса; вулканизм (магматизм).

III. Общие черты в сейсмичности, вулканизме, локализации месторождений полезных ископаемых являются методологической основой для разработки физически обоснованной единой иерархической системы геолого-геофизических исследований (включая полевые наблюдения).

*Работа выполнена в рамках гос. контракта № ИСГЗ ФАНО 0139-2015-0017.*

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Акимова А.А., Волгина А.И.* О результатах совместных гравиметрических и газометрических наблюдений // Физика Земли. 1993. № 2. С. 90–92.
2. *Воларович М.П., Томашевская И.С., Будников В.А.* Механика горных пород при высоких давлениях. М.: Наука, 1979. 152 с.
3. *Волков А.В., Сидоров А.А.* Золото-сульфидные вкрапленные гиганты Северо-Востока России, закономерности размещения и условия образования // Новые горизонты в

изучении процессов магмо- и рудообразования: Материалы науч. конф. М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 217–218.

4. *Гарагаши И.А., Николаевский В.Н., Степанова Г.С.* Миграция и критерии аккумуляции углеводородов в системе тектонических разломов // Доклады РАН. 1992., Т. 324, № 6. С. 1169–1174.

5. *Грассо Ж.Р., Волян Ф., Фурментро Д., Мори В.* Связь между извлечением углеводородов, локальными техногенными землетрясениями и крупными региональными землетрясениями на примере Пиренейского района // Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти / Под ред. В. Мори и Д. Фурментро. М.: Мир, 1994. 416 с.

6. *Гречухин В.В., Бродский П.А., Климов А.А., Козельский И.Т., Козельская В.Т., Воевода Б.И.* Геофизические методы изучения геологии угольных месторождений. М.: Недра, 1995. 477 с.

7. *Добровольский И.П.* Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 240 с.

8. *Йодер Х.* Образование базальтовой магмы. М.: Мир, 1979. 237 с.

9. *Кадик А.А.* Роль воды и углекислоты в образовании и дегазации основных магм // Геодинамика, магмообразование и вулканизм. Петропавловск-Камчатский, 1974. С. 9–16.

10. *Киссин И.Г.* Подземные воды и сейсмические процессы // Подземные воды и эволюция литосферы: Материалы Всесоюз. конф. М.: Наука, 1985. Том II. С. 302–306.

11. *Киссин И.Г.* Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты. М.: Наука, 2009. 328 с.

12. *Краснопевцева Г.В., Кузин А.М.* Новые данные по изучению глубинного строения Южно-Татарского свода и его юго-восточного обрамления по профилю ГСЗ «Черемшан-Мелеуз» // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезисы: Материалы Всерос. конф. М.: ГЕОС, 2008, С. 233–236.

13. *Краснопевцева Г.В., Кузин А.М.* Комплексная сейсмическая интерпретация данных ГСЗ (продольные волны) на примере профиля «Волгоград-Нахичевань» // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия: Материалы Всерос. совещ. г. Иркутск, 18-21 августа 2009 г. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2009. Т. 1. С. 61–63.

14. Кузин А.М. Механически жесткие образования геологической среды в процессах вулканизма, землетрясений, формирования и сохранения месторождений флюидного генезиса // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности: Материалы Всерос. конф. М.: ГЕОС, 2007. С. 134–135.
15. Кузин А.М. Отображение общих закономерностей в локализации месторождений флюидного генезиса по данным интерпретации сейсмических методов // Комплексные геолого-геофизические модели древних щитов: Труды Всерос. (с междунар. участием) конф. Апатиты: Изд. Геологического института КНЦ РАН, 2009. С. 175–182.
16. Кузин А.М. Пространственно-фазовая локализация месторождений углеводородов и отображение конвергентности процессов флюидизации в геологической среде по сейсмическим данным // Дегазация Земли и генезис нефтяных месторождений. К 100-летию со дня рождения П.Н. Кропоткина: Сб. тр. М.: ГЕОС, 2011. С. 276–301.
17. Кузин А.М. О возможной природе относительно низких значений параметра  $V_p/V_s$  в рудных залежах флюидного генезиса // Геофизика. 2012. № 2. С. 11–17.
18. Кузин А.М. О некоторых общих свойствах флюида в геологических процессах, явлениях и закономерностях (к обоснованию единой системы геолого-геофизического изучения недр). Часть 1, 2 // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2015. Выпуск 2(12). Режим доступа: <http://oilgasjournal.ru/top-pages/last-issue.html>
19. Кузин А.М. Общие закономерности эволюции фазового состава флюида в процессах нефте- и рудообразования // Актуальные проблемы нефти и газа. Электрон. науч. журн. 2017. Вып. 4(19). – Режим доступа: [http://oilgasjournal.ru/issue\\_19/kouzin.html](http://oilgasjournal.ru/issue_19/kouzin.html)
20. Лобковский Л.И., Гарагаи И.А., Дубовская А.В. Связь напряженно-деформированного состояния земной коры Восточного Прикаспия с зонами возникновения очагов землетрясений // Доклады академии наук. 2013. Т. 449, № 4. С. 1–5
21. Лукин А.Е. Создание учения о нефтегазоносных кристаллических массивах – насущная проблема геологии XXI века // Дегазация Земли и генезис нефтяных месторождений. К 100-летию со дня рождения П.Н. Кропоткина: Сб. тр. М.: ГЕОС, 2011. С. 405-441.
22. Маракушев А.А. Термодинамика метаморфической дегидратации минералов. М.: Наука, 1968. 200 с.

23. *Милькис М.Р.* Гидрогеологические предвестники Ашхабадского землетрясения 1948 года // Гидродинамические предвестники землетрясений. М.: Наука, 1984. С. 76–95.
24. *Наумов Г.Б., Миронова О.Ф.* Природа газов флюидных включений в минералах // Докл. IX междунар. конф. «Новые идеи в науках о Земле». М. 2009. Т. 1. С. 207.
25. *Петренко В.И., Котов В.С., Петухова Н.М., Петренко Н.В.* Роль паров воды в массопереносе на примере парогазовых смесей газоконденсатных месторождений // Подземные воды и эволюция литосферы: материалы Всесоюз. конф. М., 1985. С. 47–49.
26. *Раст Х.* Вулканы и вулканизм. М.: Мир, 1982. 344 с.
27. *Родкин М.В., Граева Е.М., Шатахян А.Р.* Модели процессов рудо- и нефтегенеза, обеспечивающие реализацию эмпирических законов распределения величин запасов месторождений и концентраций // Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя: Материалы XLIII Тектон. совещ. М.: ГЕОС, 2010, Т. 2. С. 210–213.
28. *Ружич В.В.* Разломные узлы, их механизм и роль в становлении напряженного состояния земной коры Байкальской рифтовой зоны // Математические экспериментальные методы в дизъюнктивной тектонике. М.: Наука, 1986. 120 с.
29. *Сардаров С.С. (мл)* Структуры в геотермальных системах. М.: Наука. 1989. 151 с.
30. *Синяков В.И.* Основы теории рудогенеза. Л.: Недра, 1987, 192 с.
31. *Ставрогин А.Н., Тарасов Б.Г.* Экспериментальная физика и механика горных пород. СПб.: Наука, 2001. 343 с.
32. *Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г., Майский Ю.Г., Труфанов А.В.* Углеродная флюидизация ископаемых углей Восточного Донбасса. Ростов на Дону: Изд-во Ростовск. ун-та, 2004. 272 с.
33. *Уломов В.И.* О глобальных изменениях сейсмического режима и уровня водной поверхности Земли // Физика Земли. 2007. № 9. С. 3–17 с.
34. *Федотов С.А.* Магматические питающие системы и механизм извержений вулканов. М.: Наука, 2006. 455 с.
35. *Хитаров Н.И., Кравцов А.И., Войтов Г.И., Ортенберг Н.А., Павлов А.С.* Газы свободных выделений Хибинского массива // Советская геология. 1979. № 2. С. 62–73.

36. Хохлов Н.М. Мониторинг деформаций в осадочных породах по измерениям скоростей сейсмических волн в скважинах // Междунар. геофиз. конф. SEG-ЕАГО / Москва 93: Сб. реф. М., 1993. Р. 5.7, С. 64.
37. Щукин Ю.К., Люстих Т.Е. Геодинамика и сейсмичность // Итоги науки и техники. ВИНТИ АН СССР. Сер «Общая геология». 1981. Т. 14. 88 с.
38. Goldberg I.S., Abramson G.J., Haslam C.O., Los V.L. Depletion and enrichment zones in the Bendigo gold field: a possible source of gold and implications for exploration // Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology. 2007. Vol. 102. P. 745–753.
39. Sibson R.H. Earthquake rupturing as a hydrothermal mineralizing agent // Geology. 1987. Vol. 15. P. 701–704.