По нашим определениям гранодиориты Сардаринского массива и дайки гранодиорит-порфиров характеризуются очень высокими давлениями (9÷6 МПа) (по соотношениям Al^{VI} к Al^{IV} в биотитах) и температурами (890-900°С) при кристаллизации, что отвечает условиям абиссальной фации. Во флюидном режиме гранитоидов отмечены высокие значения фугитивностей и парциальных давлений HCl, H₂O и CO₂. Флюиды характеризовались высокой восстановленностью. Магматогенные флюиды имели низкие летучести кислорода и повышенные значения восстановленности флюидов в дайковых образованиях, а также заметно были обогащены водой, углекислотой и хлором (табл.3).

Параметры флюидного режима	Гранодиориты Сардаринского массива	Дайки	
		Сиенит- порфиров	Гранодиорит-порфиров
T°C	900	890	900
fO_2	-12,4	-13,6	-14,3
fH ₂ O	3225	3116	3872
pH ₂ O	2820	2610	3550
pCO ₂	2950	2390	3728
lgfHF/lgfHCl	-2,25	-2,14	-1,55
К вос	0,71	0,77	0,85
У	186,3	188,4	190,8

Таблица 3 Некоторые параметры флюидного режима дифференциатов МРМС Мурунтау

Примечание. Условные обозначения те же, что в табл. 1.

Гранитоиды Сардаринского массива и дайки гранодиорит-порфиров классифицируются І-типом сильно контаминированным и редуцированным (восстановленным) [2].

Таким образом, формирование крупных месторождений, описанных выше, происходило в аномальных тектонических блоках. Эта аномальность прослеживается в мантийных и коровых геосферах. Рудогенерирующий магматизм в гигантских МРМС близок по своим параметрам к абиссальной фации глубинности и обнаруживает сложное мантийно-коровое взаимодействие с процессами контаминации. В таких системах отмечается открытость их по флюидному режиму с процессами подтока трансмагматических мантийных более восстановленных флюидов на поздних стадиях становления магматизма и оруденения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А.И., Гусев Е.А. Некоторые петрохимические особенности золотоносных гранитоидов Алтае-Саянской складчатой области // Руды и металлы. 2000. №5. С. 25-32.

2. Гусев А.И., Гусев Н.И. Магмо-флюидо-динамическая концепция эндогенного рудообразования на примере Алтая и других регионов // Региональная геология и металлогения. 2005. №23. С. 119-129.

3. Гусев А.И. Петрология и флюидный режим крупных полихронных магмо-рудно-метасоматических систем // Актуальные проблемы рудообразования и металлогении. Тез. Докл. Новосибирск: 2006. С. 70-72.

4. Ляхович В.В., Чернышев И.В. О вероятной глубине формирования магмы Эльджуртинского гранита (Кабардино-Балкарская АССР) // Доклады АН СССР. 1990. Т. 314. № 4. С. 952-954.

5. Матвеева Э.В. Толстихин И.Н., Якуцени В.П. Изотопно-гелиевый критерий происхождения газов и выявление зон неотектогенеза (на примере Кавказа) // Геохимия. 1978. №3. С.564-568.

ДЕКОМПРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА И РЕГИОНАЛЬНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС. НА ПРИМЕРЕ КАМЧАТКИ

Гуфельд И.Л.¹, Гаврилов В.А.², Корольков А.В.³, Новоселов О.Н.³

¹Институт физики Земли РАН, г. Москва, igufeld@korolev-net.ru

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, vgavr@kscnet.ru ³ФЭСТ Московского государственного университета леса, г. Мытищи, korolkov@mgul.ac.ru, onn@mgul.ac.ru

В последние годы проводится активный мониторинг геоакустической эмиссии (ГАЭ) на Петропавловск Камчатском и Сахалинском геодинамических полигонах. Получены удивительные результаты, которые не могут быть объяснены в рамках традиционной механики. Возмущения временного хода ГАЭ наблюдали на значительных расстояниях от эпицентров будущих сейсмических событий. Быстрая изменчивость ГАЭ на таких расстояниях не может быть связанной с медленными деформационными процессами формирования конкретного одиночного очага сильного землетрясения. Об этом говорят следующие наблюдения ГАЭ, являющиеся составной частью общего микросейсмического шума.

При измерениях в водонаполненной обсадной скважине на глубине 1035м наблюдали в определенные периоды суточный ход ГАЭ, совпадающий с солнечно-суточным ходом естественного электромагнитного поля – ЕЭМП (в данной зоне максимум ночью, минимум – днем). Основные особенности поведения ГАЭ: непрерывность хода, растянутая во времени реакция на прохождение упругих волн землетрясений, быстрые (в течение суток) переходы от режима ГАЭ с суточным ходом к его прекращению и обратный процесс. **Необходимо подчеркнуть, что серии сильных землетрясений на расстояниях менее 500км происходили в периоды отсутствия суточного хода ГАЭ [1].**

К этим наблюдениям необходимо добавить особенности проявления непрерывного планетарного микросейсмического шума, имеющего также солнечно-суточную периодичность. Многие данные указывают на эндогенное происхождение микросейсмического шумового поля (Сидорин и др.).

Природа микросейсмического шума, в том числе и ГАЭ, в настоящее время связывается с процессами трещинообразования и скольжения относительно друг друга элементов раздробленного поверхностного слоя, а также движениями флюида. В микросейсмическом шуме проявляются различные частоты внешних воздействий. Кроме отмеченной солнечно-суточной периодичности выделяются частоты, связанные с приливными процессами и волнениями океанов. Однако внешние воздействия лишь усиливают микросейсмический шум, чем подчеркивается собственная энергетическая насыщенность среды. Кроме этого непрерывность процессов трещинообразования не может реализоваться, т.к. плотность трещин ограничена (Журков, Куксенко). Однако составной частью микросейсмического шума остаются колебательные процессы разнопериодного и разномасштабного движения элементов поверхностного слоя коры относительно друг друга. Также было показано, что энергия внешних воздействий недостаточна для поддержания постоянного микросейсмического шума (Рыкунов, Смирнов). Наблюдательные данные носят более сложный характер, не учитывая прежде всего природу эндогенной активности Земли. В связи с этим, в рамках физико-химической модели сейсмичности [3] рассмотрены процессы взаимодействия восходящих потоков газов во флюиде, являющимся составной часть коры и экспериментальных датчиков (водонаполненные скважины, водоемы).

Подземные воды насыщены различными газами, включая слабо растворимые, такие как He, H₂, N₂, NO, CH₄ и другие. По данным мониторинга на скважине Γ -1 (2000-2007гг) средняя концентрация слабо растворимых газов в зоне устья скважины составляет (мл/л): H₂ – 4.87..10⁻², He – 1..10⁻³, N₂ – 11.6, CH₄ – 29.4, Ar – 4.77..10⁻². Эти значения концентраций газов, за исключением H₂ и He, соответствуют предельной растворимости в воде или несколько превышают ее для нормальных условий (20°С, 1 атм.). В скважине температура повышается с глубиной и растворимость уменьшаются за счет действия гидростатического давления. В водонаполненной скважине, так же как и во флюидонасыщенной среде, имеются практически одинаковые условия для образования газовых пузырей (ГП) за счет постоянных восходящих потоков газов – дегазации Земли, контролируемые процессами в геологической среде.

Известно, что процессы образования пузырей, их отрыв, всплытие (происходящее с изменениями объема) и схлопывание (на стенках, других пузырях или поверхности) сопровождается излучением упругих волн в широком диапазоне частот, вплоть до ультразвуковых. Диапазон частот излучений будет зависеть в значительной степени от размера ГП и акустических свойств газов, заполнивших его. Априори можно полагать, что проявление восходящих потоков газов в скважине или водоеме будет носить более активный характер, чем по толще коры.

Рассмотрим условия образования пузырей. Давление газа внутри пузыря должно уравновешиваться гидростатическим давлением и лапласовским давлением (4 σ /R, где σ – коэффициент поверхностного натяжения, R – радиус пузыря). Учитывая это, интенсивное образование пузырей непосредственно в объеме воды возможно только на глубинах выше 400-200м – эффект декомпрессии, носящий как известно взрывной характер. Подход газа к этой границе, т.е. дегазация, происходит относительно медленно за счет восходящей диффузии молекул газа как в среде, так и внутри водонаполненных скважин. Зона декомпрессии будет интенсивным источником упругих волн.

Образование и рост ГП будет происходить также на дефектах и трещинах внутренней стенки скважины с микроскопической шириной, куда вода не может проникнуть, и где критические давления образования ГП будут значительно меньше, чем в жидкости. Отрыву пузырей от стенок скважины будет способствовать непрерывное ее дрожание за счет постоянно действующих фоновых силовых полей и постепенное повышение давления газа в пузырях. Источники упругих волн отрывающихся от стенок пузырей могут быть по всей глубине скважины. Однако давление газа в них должно превосходить лапласовское и гидростатическое. Количество флюида в 1 м^3 породы в различных геоструктурах коры достигает 0.1-10 кг/ м³ (Киссин). Средний поток газа из коры по оценкам составляет $10^{-4} \text{ м}^3/ \text{ м}^2$ год (Войтов). Это означает, что в каждом кубическом метре зоны декомпрессии в каждую секунду должен быть один газовый пузырь с радиусом R ~ 10^{-4} м . Излучение упругой энергии при декомпрессии происхо-

дит за счет схлопывания пузырей. Учитывая это, а также то, что R << D, u << с (где D – длина волны, u – скорость схлопывания пузыря, с – скорость звука в воде), интенсивность излучения от каждого кубического метра среды будет порядка $10^{-8} - 10^{-10}$ Дж/с, что укладывается диапазон реального потока микросейсмического шума 10^{-14} - 10^{-6} Вт/м² (Хаврошкин).

Учитывая непрерывные восходящие потоки различных газов, можно говорить также о постоянном действии в скважине источников упругих волн, обусловленных динамическими процессами развития газовых пузырей. Причем интенсивность источников в зоне декомпрессии будет максимальной. Однако условия регистрации на различных глубинах будут зависеть от распределения в данный момент по глубине ГП, которые, как известно, хорошо поглощают звуковые колебания. Прямым подтверждением этих процессов являются данные об изменениях во времени плотности воды в скважине (Гаврилов). Изменения плотности воды, судя по практически неизменному уровню минерализации, можно объяснить только вариациями объема ГП, зависящего от интенсивности восходящего газового потока. Это подтверждается непрерывностью существования источников упругих волн, т.е. ГАЭ (отсутствие полного затишья в скважине).

Газонасыщенность флюида делает вероятной возможность химических реакций между водородом, азотом и различными углеводородами в газовых пузырях. Эти экзотермические реакции, сопровождающиеся возбуждением упругих волн. На константу скорости реакций может оказывать влияние уровень естественного электромагнитного поля (G.Piccardi). Было показано, что экранирование реагирующих соединений от естественного электромагнитного поля уменьшает константу скорости реакций. Поэтому солнечно-суточные хода микросейсмического шума и ГАЭ в скважине могут быть связанными с суточным ходом ЕЭМП Земли. Однако следует учитывать, что амплитуда суточного хода ЕЭМП неустойчива, в разных регионах может существенно отличаться. Эта модель источников микросейсмического излучения получает прямое подтверждение в ряде работ. Показано, что каждому повышению уровня микросейсмического шума соответствует резкий спад атмосферного электрического поля. Декомпрессионная модель позволяет объяснить природу микросейсмического шума и ГАЭ. Однако определенный вклад в уровень сейсмического шума на поверхности Земли вносят также процессы, обусловленные трением между подвижными элементами поверхностного слоя за счет внешних факторов.

Декомпрессионная модель сейсмического шума является составной частью физико-химических представлений о сейсмическом процессе [3]. Поэтому представлял интерес более детального сопоставления суточных ходов ГАЭ и сейсмотектонического процесса. Особенно интересен переход системы из состояния с суточным ходом ГАЭ к его прекращению и обратный процесс. Для идентификации состояний использованы методы анализа динамических параметров системы [2]. Прежде всего, изменения состояния среды могут быть визуализированы построением диаграмм Пуанкаре.. Диаграмма Пуанкаре представляет точечное графическое отображение N значений последовательности х при k = 1, 2, 3... N на двумерном поле, в котором ординатой очередной точки является значение x_{k+1} , а абсциссой – предшествующее значение x_k , Хаотической последовательности соответствует плотное множество точек, образующих участок незамкнутой кривой, а периодическая последовательность образует замкнутую фигуру. Если же область точек размыта и степень размытости изменяется, то это свидетельствует о накачке или сбросе средой дополнительной энергией. Поэтому для анализа использованые.

Описание поведения динамической системы во времени может быть осуществлено разностным уравнением второй степени и второго порядка

$$\mathbf{x}_{k+2} = \mathbf{a}_0 + \mathbf{a} \, \mathbf{x}_{k+1} + \mathbf{b} \, \mathbf{x}_k + \mathbf{c} \, \mathbf{x}_{k+1}^2 + \mathbf{d} \, \mathbf{x}_k^2 \tag{1}$$

Анализ такого уравнения показывает, что коэффициенты а и b при первых степенях – это параметры состояния системы, которые определяют тип ее поведения как коллектива элементов, контролируемое по измеренным данным. Коэффициенты с и d при квадратичных членах определяют энергетическую накачку, вызванную либо внешними энергетическими воздействиями, либо «самовозбуждением». В зависимости от значений параметров а и b возможны различные типы поведения системы. При докритических значениях параметров существуют два типа поведения автономной системы (c = d = 0) – затухающие и незатухающие колебания. Первый – соответствуют устойчивому поведению системы. Второй – описывает неустойчивое поведение системы (режим самовозбуждения). Анализ уравнения (1) показывает, что при отсутствии энергетической накачки критическими границами являются стороны треугольника, образованного пересечением прямых (на координатной плоскости a и b)

$$a+b=1, b-a=1, b=-1$$
 (2)

Понятно, что внутренняя область треугольника относится к области сходящихся решений (ОСР). При любой паре значений a и b в этой области система ведет себя устойчиво при любых начальных значениях. Вне этой области система является неустойчивой. Положение критических границ существенно зависит от энергетических параметров с и d и начальных условий для уравнения (1). Значения (c + d) >0 соответствуют накачке среды энергией, а значения (c + d) < 0 – сбросу энергии. При этом, если значения параметров а и b выходят за пределы критических границ, размах автоколебаний может резко возрастать.



МАТЕРИАЛЫ ЧЕТЫРНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

На рисунках сверху представлены диаграммы Пуанкаре (а, б) для периодов перехода системы от суточного хода (слева) к его прекращению (справа), а внизу (г,д) – границы устойчивости системы и ОСР системы для тех же периодов (светло-серые тона – сходящиеся решения, черные – решения колебательного типа, светлые – расходящиеся решения, соответствующие катастрофическому поведению системы). На рисунке **в**– границы устойчивости

для начальных периодов с суточными ходами ГАЭ (предшествует ситуации, представленной на рисунках **a** и **r**). Белая точка – положение системы в каждый период. Как видно, в период с суточным ходом ГАЭ система переходит в состояние, близкое к критическому, а далее – в «устойчивое состояние». Это означает, что в период с суточным ходом идет процесс интенсивной накачки и сброса средой (в водном столбе скважины) энергии (значения (c + d) < 0). Последующий период, когда происходят сильные события, относительно стабилен –аналог сейсмического затишья. Такое отражение локального процесса в региональном сейсмотектоническом режиме может быть обусловлено действием одного и того же фактора – импульсной пространственно распределенной дегазацией Земли. Ее локальные проявления в поверхностных слоях будут проявляться в декомпрессионных эффектах, а региональные – в блокировке движения блоков и последующих сильных землетрясениях [3].

Работа частично поддержана грантом РФФИ 06 05 64048-А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов В.А., Морозова Ю.В., Сторчеус А.В. Вариации уровня геоакустической эмиссии в глубокой скважине и их связь с сейсмической активностью//Вулканология и сейсмология. 2006. №1. С. 52-67.

2. Новоселов О.Н. Идентификация и анализ динамических систем. М.:ГОУ ВПОМГУЛ. 2006. 300с.

3. Гуфельд И.Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты. Королев: ЦНИИмаш. 2007.

ПОЛЯРНОУРАЛЬСКАЯ АСТРОБЛЕМА

Данилин А.Н.

ФГУП ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург, anatol-48@mail.ru

На всех средне- и крупномасштабных картах геологического содержания район сочленения Полярного Урала и Пай-Хоя резко отличается от других частей Урала необычным строением. На этой территории (центральная его часть известна как «Щучьинская площадь»), контуры большинства геологических тел изометричные в плане, в то время как для остального Урала характерна линейно-вытянутая форма образований.

Большинство выделенных на территории разломов имеют радиальную, либо концентрическую ориентировку относительно условного центра с координатами: 67^030^1 с.ш., 67^030^1 в.д. Особенно чётко фиксируются концентрические структуры в приподнятых северо-западном, западном и юго-западном секторах.

Радиально-концентрическое строение территории отчётливо видно на космических снимках. Отмечается вложение хорошо дешифрируемых фрагментарных кольцевых структур с усреднёнными диаметрами 40 км, 80 км, 130 км, 210 км.

Допозднеордовикские образования территории Полярноуральской структуры аномально трещиноваты в мега-, макро- и микроформах. На космических снимках масштаба 100-500 тысяч это проявляется в блочном, мел-кохолмистом рисунке территории.

На карте аномального магнитного поля отмечается концентрическое строение территории. Центральная часть характеризуется положительными значениями магнитного поля (до 28 мЭ), которую окружает тор с отрицательными (до –8 мЭ) значениями поля. Далее – вновь положительные. Этот концентрический рисунок отчётливо проявляется на крупномасштабных картах при многократном огрублении пёстрого, знакопеременного фрагментарного магнитного поля, характерного для мелкомасштабных карт территории. Аналогичная картина характерна для гравитационных полей.

Региональные петроманитные карты показывают аномальность Полярноуральской структуры относительно других, соседних областей. Здесь выходят сильномагнитные петрофизические ассоциации пород с мантийным, подкоровым термодинамическим режимом высоких температур ($t^0 > 1000^{\circ}$ С) и давлений (P = 12-20 Кбар). Картируемые контуры на карте изометричные, кольцевые.

Аномальность территории отмечаются на «Геодинамической карте России» масштаба 1:1 000 000, где островодужные венд-палеозойские вулканические образования окружены образованиями океанической коры рифтовых зон.

На карте глубинного строения земной коры Урала масштаба 1:1 000 000 в пределах структуры показан выход на дневную поверхность образований базальтового слоя, находящихся в автохтонном залегании.

На схеме структурно-формационного районирования Урала (для домезозойских образований) масштаба 1 : 2 500 000 Харбейско-Мурункеуская зона обрамляет полукольцом с северо-запада, запада и юго-запада кольцевую Щучьинскую краевую зону; та, в свою очередь, обрамляет кольцом Центрально-Щучьинскую зону.

На структурно-тектонических крупномасштабных картах Тагило-Магнитогорская синклинорная мегазона в пределах структуры выделяется своей кольцевой формой.