

2. Кольская сверхглубокая. Научные результаты и опыт исследования. – М.: МФ «ТЕХНОНЕФТЕГАЗ», 1998. – 260 с.
3. Inaugural meeting of IGCP project N408: comparison of composition, structure and physical properties of rocks and minerals in the Kola Superdeep borehole (KSDB) and their homologues on the surface. //Episodes, 1998, v.21, N4, p.266.
4. Ильченко В.Л. О наличии волновой компоненты в вариациях анизотропии упругих свойств образцов керна Кольской сверхглубокой скважины. //Сборник трудов XV сессии Российского акустического общества, т.1.- М.: ГЕОС, 2004, с.313-316.
5. Лобанов К.В., Казанский В.И., Кузнецов А.В. и др. Сопоставление архейских пород из разреза Кольской сверхглубокой скважины и их аналогов с поверхности по результатам структурно-петрологических, петрофизических и нейтронографических исследований. //Петрология, 2002, т.10, №1, с.30-45.
6. Магматические и метаморфические комплексы пород Кольской сверхглубокой скважины. – Л.: Недра, 1986. – 228 с. (М-во геологии СССР. Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-т. Труды, новая серия, т. 335).
7. Горбачевич Ф.Ф. Акустополарископия горных пород. – Апатиты, 1995, 204 с.
8. Горбачевич Ф.Ф., Балаганский В.В., Иванова Н.Г. Акустополариметрия и определение упругой симметрии горных пород. (Методические рекомендации). – Апатиты, 1990, 84 с.
9. Горбачевич Ф.Ф., Головатая О.С., Ильченко В.Л. и др. Упругие свойства некоторых образцов пород по разрезу Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3), определенные при атмосферных условиях и условиях «in situ». //Физика Земли, 2002, №-7, с.46-55.
10. Иванюк Г.Ю., Горяинов П.М., Егоров Д.Г. Введение в нелинейную геологию (опыт адаптации теории структур к геологической практике). – Апатиты, 1996, 185 с.
11. Ильченко В.Л. Волновые аспекты тектонической расслоенности литосферы, их роль в геодинамике и возможном прогнозе землетрясений. /Геофизика XXI столетия: 2005 г. Сборник трудов Седьмых геофизических чтений им. В.В.Федынского (3-5 марта 2005 г., Москва).- М.: Научный мир. 2006.- с.213-220.
12. Петрофизика. Справочник. В трёх книгах. Книга третья. Земная кора и мантия. /Под ред. Н.Б.Дортман.- М.: Недра, 1992. 286 с.
13. Ильченко В.Л., Горбачевич Ф.Ф., Смирнов Ю.П. Анизотропия упругих свойств керна и состояние пород околоствольного массива Кольской сверхглубокой скважины в зоне Лучломпольского разлома. //Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. №3, 2005, с.1-11.

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НИЖНЕГО РАССЛОЕННОГО ГОРИЗОНТА ПАНСКОГО МАССИВА (Кольский полуостров)

Ильченко В.Л.

Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты, vadim@geoksc.apatity.ru

Западно-Панский расслоенный ультрамафит-мафитовый массив является частью раннепротерозойского Фёдорово-Панского комплекса. Массив этот имеет протяженность около 30 км, максимальную мощность 3840 м и юго-западное падение под углами 30-40°. Он представляет собой пластовое тело, сложенное, главным образом габбро-норитами, среди которых выделяют два горизонта интенсивно расслоенных пород: нижний (НРГ) и верхний (ВРГ) расслоенные горизонты [1]. В пределах НРГ (имеющего мощность 40-80 м) локализован Северный платиноносный риф. Характерной чертой НРГ является чередование пластов и протяженных линз разнотекстурных габброноритов, лейкогаббро, анортозитов, норитов и ортопироксенитов [1]. При этом расслоенность НРГ лишена какой-либо ритмичности и представляется в значительной мере условной [2].

Помимо прочего, в НРГ обращают на себя внимание формы обособления некоторых местных пород и их механические свойства. В частности здесь (впрочем, как и в других частях Панского массива) имеют место небольшие (до 10 м) участки (тела) с чёткими, напоминающими зоны закалки границами (изометричные или продолговатые по форме), сложенные довольно рыхлой породой. Зона закалки представляет собой хрупкую мелкозернистую корку 2-4 см толщиной, разбитую со стороны дневной поверхности образующими многоугольными трещинами. Под коркой порода из этих участков выглядит так, словно из неё вынесен цемент и остались лишь кумуляты кристаллов породообразующих минералов. Эти участки выделяются в рельефе массива и представляют собой заполненные разупрочнёнными породами камеры, вскрытые с поверхности. Подобные аномалии (по более ранним наблюдениям) встречаются и в других местах Панского массива (в пределах ВРГ) и не только на поверхности, но и подсечены скважинами на разных глубинах. Во время прохождения буровым инструментом подобных зон (по словам бурильщиков) скорость проходки заметно возрастает, а вместо керна на поверхность поднимаются дрова и щебень. При этом подавляющее большинство слагающих массив пород обладает высокой механической прочностью.

В изучении рудоносных расслоенных горизонтов, как правило, больше внимания уделяется изучению вещественного состава пород и их петрологии и почти не проводится исследований их физических свойств. В данной работе сделана попытка на основании петрофизических данных проанализировать геологические (геодинамические) условия, в которых формировался нижний расслоенный горизонт Западно-Панского мас-

сива. Для этого из обнажений с поверхности в районе НРГ (в верхнем течении ручья Марьёк) были отобраны ориентированные образцы. Образцы отбирались по сетке из серии параллельных профилей, ориентированных с запада на восток, с шагом отбора 20 м. Количество образцов в профилях варьирует от 2 до 10. Всего было отобрано, изучено и проанализировано 84 образца.

МЕТОДИКА

Из образцов изготовили кубики с ребром около 30-40 мм и маркировкой граней X, Y, Z (1, 2, 3). Маркировка проводилась следующим образом: грань Z всегда нормальна к вертикали, а направления X, Y выбирались произвольно. Измерения проводили акустополаризационным методом [3], который является аналогом оптического поляризационного. Конструкция акустополарископа аналогична конструкции поляризационного петрографического микроскопа. Прибор содержит излучатель и приемник поперечных линейно-поляризованных ультразвуковых колебаний, гониометр и указатель угла поворота платформы, в центре которой крепится образец. Перед измерениями образец устанавливают на платформу и фиксируют держателями между излучателем и приемником колебаний. Предварительно на рабочие поверхности излучателя и приемника наносится контактная среда, хорошо проводящая сдвиговые волны. В процессе измерений платформа поворачивается с заданным (в нашем случае 10°) шагом в пределах полного угла поворота – 360° . Датчики акустополарископа соединены с ультразвуковым дефектоскопом УД2-12. Измерения осуществляются на рабочей частоте прибора 1,2 МГц. В точках наблюдений, на экране дефектоскопа фиксируется амплитуда импульса проходящих колебаний. Измерения проводятся в два этапа: сначала при параллельных (ВП), затем - при скрещенных (ВС) векторах поляризации. Скрещение векторов поляризации производится поворотом датчика-приемника на 90° .

Измерения выполняются на всех трех парах граней кубического образца. Затем строят акустополариграммы ВП и ВС – круговые диаграммы изменения амплитуды импульса в пределах полного угла поворота платформы. Эти диаграммы имеют вид 4-лепестковых (для твердых сред поперечно-изотропного или орторомбического типа упругой симметрии) розеток. Диаграммы ВП традиционно принято изображать сплошной линией, диаграммы ВС – пунктиром. Проведением прямых линий через противоположные минимумы акустополариграммы ВС определяют количество и ориентировку проекций элементов (оси, плоскости) упругой симметрии на каждую пару граней образца.

Для всех образцов были построены акустополариграммы, по которым определялась ориентировка проекций элементов упругой симметрии на трех гранях куба. Данные проекции являются направлениями, в которых скорости поперечных колебаний принимают максимальные значения. Затем, в соответствии с выявленными направлениями, совмещая с ними плоскость поляризации источника и приемника прибора для определения времени задержки сигнала, определяли скорости продольных (V_p) и поперечных (V_s) колебаний и составляли квазиматрицы скоростей V_{ij} [3]:

$$V_{ij} = \begin{vmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где V_{11}, V_{22} и V_{33} – величины скорости продольных колебаний, измеренные, в направлениях 1, 2, 3, соответственно, а остальные значения – скорости поперечных волн, где первый подстрочный индекс обозначает направление распространения волны (грань прозвучивания), второй – направление вектора поляризации сдвиговых колебаний, ориентированного вдоль проекции элемента упругой симметрии, выходящего на боковую грань образца. По квазиматрицам скоростей определяют пространственное положение главной плоскости упругой симметрии образца.

Величины показателя упругой анизотропии по поперечным волнам B определяют, используя данные квазиматриц и следующие формулы [4]:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + B_3^2} \times 100\%, \quad (2)$$

$$\text{где } B_1 = \frac{2(V_{12} - V_{13})}{V_{12} + V_{13}}, \quad B_2 = \frac{2(V_{21} - V_{23})}{V_{21} + V_{23}}, \quad B_3 = \frac{2(V_{31} - V_{32})}{V_{31} + V_{32}},$$

– коэффициенты двулучепреломления по граням 1, 2 и 3 образца.

Коэффициенты анизотропии по продольным волнам рассчитывают как девиатор величин V_{ii} в квазиматрице [4]:

$$A_p = \frac{1}{V_{cp}} \sqrt{(V_{11} - V_{cp})^2 + (V_{22} - V_{cp})^2 + (V_{33} - V_{cp})^2} \times 100\%, \quad (3)$$

где $V_{cp} = (V_{11} + V_{22} + V_{33})/3$ – средняя скорость распространения продольных волн в образце.

Плотность образцов была измерена методом Архимеда.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Плотность пород является наиболее консервативной характеристикой, поскольку даже наличие систем микротрещин, которые могут существенно повлиять на упругие характеристики, не оказывает на неё заметного влияния. Результаты измерений значений плотности образцов, отобранных из НРГ, позволяют сделать следующие выводы. Средняя плотность (среднее арифметическое) пород составляет 2.94 г/см^3 . Вариации значений плотности отдельных образцов распределены от 2.72 до 3.2 г/см^3 . Распределение высоких и низких (относительно среднего) значений хаотичное, условно можно выделить «полосу» субмеридионального простирания, в которой преобладают породы со значениями около $3.02 \pm 0.03 \text{ г/см}^3$. При этом НРГ имеет субширотное простирание [1]. Образцы из упомянутых выше зон разупрочнения имеют высокие плотности: для № Р-6А (габбронорит) и № 1-4L (ортопироксенит) это 3.02 и 3.20 г/см^3 соответственно. В большинстве случаев породы с плотностью выше среднего соседствуют с породами с плотностью среднего и ниже среднего значения.

Результаты акустополарископии образцов показали наличие в породах значительных вариаций их степени анизотропности и неоднородности. Часть из них проявляет линейную акустическую анизотропию поглощения (ЛААП или ЭЛАП [3]), свойственную метаморфическим породам (вроде сланцев и гнейсов). При этом, большая часть образцов, по результатам акустополарископии, проявляет довольно слабую анизотропию и неоднородность. На небольшом количестве образцов, в том числе на ксенолитах № Р-6А и № 1-4L, получены акустополариграммы с аномально изломанными формами, схожими с диаграммами, полученными на керне Кольской сверхглубокой скважины с глубин 9-11 км [5].

Анизотропия упругих свойств подсчитывалась отдельно для скоростей распространения в образцах продольных (**А**) и отдельно для поперечных (**В**) ультразвуковых колебаний. Для показателей анизотропии **А** вариации следующие. При средней (среднее арифметическое) величине 10.62% имеем разброс значений от 0.32 до 137.44% . При этом для подавляющего большинства образцов установлено значение **А** гораздо ниже среднего, величина которого обусловлена наличием 9 образцов с очень высокими показателями, например, для особо упоминавшихся выше образцов № Р-6А и № 1-4L это 83.65 и 137.44% соответственно. Распределение по площади аномально высоких значений анизотропии **А** хаотичное. Для показателей анизотропии **В** вариации следующие. При средней (среднее арифметическое) величине 6.13% имеем разброс значений от 0.00 до 33.00% . При этом примерно 30% образцов имеет значение **В** выше среднего, величина же **В** для образца № Р-6А не была определена (поскольку, из-за наличия систем микротрещин, в нём не удалось померить скорости поперечных волн в одном из направлений), а для № 1-4L составила 7.53% . Совершенно изотропным по показателям анизотропии ($A=1.14\%$, $B=0.00\%$) оказался образец Р-1А из дайки базитового состава (плотностью 2.98 г/см^3), имеющей субмеридиональное простирание.

Из обсуждаемых в работе физических свойств вариации пространственного положения плоскости упругой симметрии в исследованных образцах наиболее разнообразны. Положение плоскости упругой симметрии в образце определяется по совокупности пар элементов упругой симметрии на гранях образца кубической формы, в направлении которых скорости распространения поперечных волн оказываются максимальными [3]. Собственно этот параметр определяет направление главной составляющей литостатического давления, которому подвергалась горная порода на заключительном этапе её развития. Как было сказано выше, исследуемый массив имеет юго-западное падение под углом $30-40^\circ$. Схожими характеристиками обладают только 4 образца из изученной коллекции. Пространственные ориентировки плоскостей упругой симметрии остальных 80 образцов различаются одна от другой в существенных пределах и практически нет двух схожих, находящихся по соседству.

ВЫВОДЫ

1) Расплав, при остывании которого получился НРГ, по-видимому, представлял собой некую механическую смесь магмы и ксенолитов. Эта магма сцементировала и частично ассимилировала захваченные ксенолиты.

2) Наличие в исследованном горизонте крупных разупрочнённых тел, обладающих корочками закаливании, предполагает, что данные тела являются ксенолитами, захваченными на значительных глубинах. В приповерхностных же условиях они были дезинтегрированы в результате тектоно-кессонного эффекта [6].

3) Вынос ксенолитов на поверхность (или почти на поверхность) происходил (согласно [7]) с глубин не менее 10 км .

4) Ксенолиты встречаются не только в НРГ, но и в других частях Западно-Панского массива, причём распределение ксенолитов в массиве хаотично, как и распределение рудных зон, из чего вытекает, оруденение Федорово-Панского массива имеет «ксенолитную» природу. Рудные ксенолиты, по-видимому, могли быть захвачены магматическим расплавом, продвигающимся к поверхности, в некой глубинной и очень богатой рудной зоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из приведенных выше выводов следует, что для окончательного установления локализации месторождения ЭПГ в пределах Федорово-Панских тундр необходимо исследовать генетические РТ-параметры и возраст соответствующих ксенолитов и проводить дальнейшие поисковые работы с учётом этих исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Габов Д.А., Рундквист Т.В., Субботин В.В. Платинометальная минерализация Западно-Панского массива (Кольский полуостров). // ДАН. 2007, т.414. №2. С.215-218.
2. Припачкин П.В. Существует ли ритмическая расслоенность в нижнем горизонте Федорово-Панского массива Кольского полуострова? // Отечественная геология. 1997. №5. С.29-32.
3. Горбачевич Ф.Ф. Акустополарископия горных пород. – Апатиты, 1995, 204 с.
4. Горбачевич Ф.Ф., Головатая О.С., Ильченко В.Л. и др. Упругие свойства некоторых образцов пород по разрезу Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3), определенные при атмосферных условиях и условиях «in situ». // Физика Земли. 2002. №-7. С.46-55.
5. Ильченко В.Л., Горбачевич Ф.Ф., Смирнов Ю.П. Упругая анизотропия образцов керна Кольской сверхглубокой скважины из интервала 8.7-11.4 км. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1999. №3. С.151-159.
6. Горяинов П.М., Давиденко И.В., Горбачевич Ф.Ф., Ланев В.С., Медведев Р.В., Смирнов Ю.П. Теоретические и экспериментальные основы тектоно-кессонного эффекта (явление дезинтеграции), геодинамические следствия. В кн. Глубинное строение и геодинамика кристаллических щитов европейской части СССР. Апатиты, 1992, с.136-144.
7. Горбачевич Ф.Ф., Медведев Р.В., Смирнов Ю.П. Явление дезинтеграции керна Кольской сверхглубокой скважины, причины и следствия. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1996. № 5. С. 46-54.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕКОВОГО ХОДА ТЕМПЕРАТУР ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ГЕНЕРАЦИЮ УВ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТОЙ

Исаев В.И.^{1,2}, Попов С.А.², Литвинова О.Г.²

¹ Томский политехнический университет, г. Томск, isaev_sah@mail.ru

² Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, postal578@mail.ru

Начало применения палеотемпературного моделирования для оценки степени катагенеза потенциально нефтематеринских пород приходится на рубеж 80-90-х годов прошлого века (Ермаков, Скоробогатов, 1986; Галушкин, Смирнов, 1987; Курчиков, Ставицкий, 1987; Дучков и др., 1990; Кутас, Цвященко, 1993; Исаев, Волкова, 1995; Подгорный, Хуторский, 1998). Получили широкое распространение методы математического моделирования, учитывающие изменение во времени многочисленных параметров геотермополя, что позволяет достаточно достоверно и точно рассчитывать температуры на любой момент геологического времени в любой точке разреза. Наряду с другими важнейшими для нефтегазовой геологии параметрами термополя, такими как нестационарность глубинного теплового потока и скорости осадконакопления, обращается внимание на необходимость учета палеоклиматических условий – векового хода температур поверхности земли. Причем, большое значение придавалось факторам изменения климатических условий в олигоцен-раннечетвертичное время и резкому похолоданию в позднечетвертичное время [3]. Тем не менее, нам не известны специальные публикации, посвященные конкретным количественным оценкам влияния палеоклимата на интенсивность генерации УВ глубокопогруженных нефтепроизводящих осадочных комплексов. Настоящее сообщение посвящено этому вопросу.

Мы проводим исследования методом палеотемпературного моделирования в центральной части Западно-Сибирской плиты с целью «трассирования» в геологическом времени очагов генерации нефти баженовской (K_{1b}-J_{3tt}, 142-151 м.л.н.) и шеркалинской (J_{3t-p}, 185-196 м.л.н.) свитами в пределах Верхнеяминского вала (рис. 1).

В нашей модели (рис. 2) процесс распространения тепла в слоистой осадочной толще описывается начально-краевой задачей для уравнения

$$\frac{\lambda}{a} \cdot \frac{\partial U}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial Z} \left(\lambda \frac{\partial U}{\partial Z} \right) = f, \quad (1)$$

где λ – теплопроводность, a – температуропроводность, f – плотность внутренних источников тепла, с крайними условиями

$$U|_{Z=\varepsilon} = U(t), \quad (2)$$

$$-\lambda \frac{\partial U}{\partial Z} \Big|_{Z=0} = q(t) \quad (3)$$

где $\varepsilon = \varepsilon(t)$ – верхняя граница осадочной толщи. Осадочная толща описывается мощностями стратиграфических комплексов h_i , для каждого из которых заданы теплопроводность λ_i , температуропроводность a_i , плот-