

Все названные районы находятся вблизи крупнейших нефтяных месторождений, эксплуатация которых велась и ведется продолжительное время, поэтому они могут иметь как собственно тектоническую природу, так и быть наведенными. Эти факты еще раз подтверждают актуальность работ по исследованию природной и техногенной сейсмичности на ВЕП.

Задача данной публикации привлечь пристальное внимание специалистов к состоянию проблемы, обсудить предлагаемые пути решения и, возможно, усовершенствовать намеченную программу работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С. Старовойт О.Е. Инструментальные сейсмологические наблюдения на Восточно–Европейской платформе // Землетрясения и микроземлетрясения в задачах современной геодинамики Восточно–Европейской платформы. Книга 1. Землетрясения. Петрозаводск, 2007. С. 60-66.
2. Ананьин И.В. (отв. сост). XIV. Европейская часть СССР, Урал и Западная Сибирь // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 465-470.
3. Никонов А.А., Сильдвэз Х.Х. Землетрясения в Эстонии и их сеймотектоническая позиция // Изв. АН ЭстССР. Сер. геол. 1988. Т. 37, № 3. С. 127-142.
4. Никонов А.А., Чепкунас Л.С. Сильные землетрясения в низовьях Кубани – ревизия данных // Геофизический журнал. 1996. № 3. С. 29-41.
5. Никонов А.А., Мокрушина Н.Г., Лубягина Л.И. Исторические землетрясения Вятского края // Вестн. Вятского гос. педагогич. ун-та. 1999. № 2. Киров, 2000. С. 76-80.
6. Никонов А.А., Чепкунас Л.С., Удоратин В.В. Сысольское землетрясение 13 января 1939 г. на Русском Севере / Геология Европейского Севера России. Сб. 5. Вып. 108. Сыктывкар. 2001. С. 29-43.
7. Никонов А.А., Белоусов Т.П., Энман С.В. Землетрясения юга Восточно-Европейской платформы и их структурная позиция // Физика Земли. 2001. № 5. С. 30-44.
8. Никонов А.А., Сейсмичность Карельского региона. Исторические землетрясения. В кн.: Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона. Петрозаводск. 2003. С. 193-214;
9. Никонов А.А., Мокрушина Н.Г. Землетрясение в Печорском крае 20 апреля 1914 г. / Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов: Материалы Всероссийск. конф., Архангельск, 13-18 сент. 2004 г. Архангельск, 2004. Т. II. С. 78-81.
10. Никонов А.А. Восточно-Ладожское землетрясение 30 ноября 1921 года // Физика Земли. 2005. № 7. С. 15-
11. Годзиковская А.А. Местные взрывы и землетрясения. Ротапринт «Гидропроект». Москва. 1995. 100 с.
12. Никонов А.А., Проблема выделения нетектонических землетрясений на Восточно-Европейской платформе в оценке сейсмической опасности // Недр Поволжья и Прикаспия. 1996. Спец. вып. 13. С. 42-49.
13. Никонов А.А. Сильнейшее землетрясение Большого Кавказа 14 января 1668 г. Изв. АН СССР. Физ.Земли. 1982, № 9, 90-106.
14. Никонов А.А. О землетрясении 1668 г. на Восточном Кавказе (ответ Б.А. Борисову). Изв. АН СССР. Физ.Земли. 1982, № 9, С. 123-127.
15. Борисов Б.А. Сильные землетрясения на Восточном Кавказе: интерпретация исторических данных и анализ геологической обстановки. Изв. АН СССР. Физ.Земли. 1982, № 9, С. 107-122.
16. Годзиковская А.А., Л.С. Чепкунас, Примеры сбора и интерпретации первичных материалов землетрясений Восточно–Европейской платформы по раннему инструментальному периоду наблюдений. Казань, 2007. С. 228-232.
17. Годзиковская А.А. Макросейсмические описания и параметры камчатских землетрясений XVIII-XIX в.в. Казань, 2007. С. 233-236.
18. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Тр. ИФЗ АН СССР; № 32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88-93.
19. Маламуд А.С. Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. М.: Изд-во ИФЗ РАН СССР. С. 180-192.
20. Огаджанов В.А., Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С. Шалкарское землетрясение 26 апреля 2008 г. (настоящий сборник).

### КОЛЬСКАЯ СВЕРХГЛУБОКАЯ – ОТ ПОВЕРХНОСТИ К НИЖНЕЙ КОРЕ

Милановский С.Ю.

Институт физики Земли РАН, г. Москва, svetmil@mail.ru

Программа глубокого континентального бурения стала качественно новым этапом в развитии знаний о земной коре. Важнейшим разделом этих новых знаний стали свидетельства о глубинной трещиноватости коры. Геотермические исследования в СГ-3 были приобщены к широкому кругу смежных исследований, ведущихся в этой скважине – гидрогеологии, петрологии, геохимии РАЭ, механике горных пород, многочисленным геофизическим наблюдениям. Это дало возможность глубже взглянуть на тепловой режим земной коры.

Доклад посвящен результатам геотермических исследований в СГ-3 [1-7]. Наряду с измерениями, они включали в себя интерпретацию изменения теплового потока и его составляющих с глубиной. Наиболее существенным результатом следует назвать выявление связи теплового поля с гидрофизической зональностью земной коры и её трещиноватостью. Геотермическими исследованиями в СГ-3 установлено, что плотность теплового потока увеличивается от  $30 \text{ мВтм}^{-2}$  до  $49,5 \text{ мВтм}^{-2}$ , локально до  $68 \text{ мВтм}^{-2}$ . [4,6,7]. Эти цифры практически мало изменились после проведения последующих массовых измерений теплопроводности ядра СГ-3 [8]. Установлено, что наиболее существенной причиной роста потока с глубиной, наряду с палеоклиматическим эффектом, имеющим ограниченное по глубине влияние, является нисходящая фильтрация метеорных вод. [1,3]. По геотермическим данным была оценена скорость (Дарси) нисходящей фильтрации в протерозойских метаморфических породах –  $0,4 \text{ см}$  ежегодно. Оценка скорости этой фильтрации оказалась близка к скорости воздымания блоков земной поверхности на Балтийском щите. Выявлена рефракция вертикальной составляющей градиента температуры на наклонных границах раздела слоев контрастной теплопроводности. Показано, что геотермические параметры отвечают физико-механическим границам [4,9], установленным комплексными изучениями разреза СГ-3 [7,10,11]:

I. Проницаемая зона, связанная с экзогенным влиянием. Метеорная вода с низкой минерализацией в трещинах (0-800)м. Эта зона соответствует интервалу роста теплового потока с глубиной за счет нисходящей фильтрации и влияния палеоклимата в её верхней части.

II. Зона совместных (свободных и химически связанных) вод, главным образом связанной воды, где свободная вода присутствует только в узких зонах нарушений и в жилах (800-4500)м. Наиболее устойчивая ( $49,5 \text{ мВтм}^{-2}$ ) по значению теплового потока с глубиной зона – теплоперенос осуществляется кондуктивным механизмом. Эта величина потока использована для расчета глубинных температур в коре.

III. Зона региональной тектонической расслоенности и гидравлической дезинтеграции пород, со свободными сильноминерализованными водами, принадлежащими к метаморфическим флюидам первично морского генезиса (4500-9200)м.

IV. Зона совместных вод, главным образом химически связанных, с присутствием свободных жильных вод (> 9200м). Аналогична III зоне, но здесь начинает сказываться радиогенная составляющая теплового потока – тенденция к снижению потока с глубиной.

Изучено детальное послойное распределение РАЭ (U, Th и K) по разрезу СГ-3 [5]. Полное пересечение Кольской скважиной Печенгской структуры дало возможность детально изучить послойное распределение U, Th и K в разрезе, а также оценить интенсивность теплогенерации до глубины 12 064 м. Средняя теплогенерация пород нижнепротерозойского комплекса составляет  $0,41 \cdot 10^{-6} \text{ Втм}^{-3}$ , а архейского комплекса –  $1,47 \cdot 10^{-6} \text{ Втм}^{-3}$ . Вклад нижнепротерозойского комплекса в суммарный тепловой поток равен  $2,8 \text{ мВтм}^{-2}$ , а архейского комплекса –  $6,86 \text{ мВтм}^{-2}$ . Суммарный вклад коры до глубины 12064 м оценивается в  $9,7 \text{ мВтм}^{-2}$ . В верхней части коры охарактеризованная выше инверсия теплогенерации связана с локальным развитием рифтогенных протерозойских осадочно-вулканогенных зеленокаменных поясов. Выявлена связь метаморфических процессов с разномасштабным перераспределением U и Th в породах на глубинах до 10 км. Исследования в Печенгском рудном районе с помощью Кольской сверхглубокой позволили оценить роль коровой теплогенерации в тепловом потоке как  $26 \text{ мВтм}^{-2}$ . Сопоставление величины теплового потока по разрезу Кольской сверхглубокой с моделью теплогенерации позволяет сделать следующие выводы:

1) в разрезе печенгского комплекса тепловой поток мало зависит от радиогенных источников тепла; главными факторами, определяющими флуктуации потока, являются гидрогеологический, структурный и теплофизический;

2) в архейской части разреза рост теплогенерации приводит к снижению плотности теплового потока с глубиной в среднем ~на  $5 \text{ мВтм}^{-2}$ .

В результате детального изучения геохимии U, Th и K в верхнеархейских породах разрезов Кольской сверхглубокой и других скважин, вскрывших более эродированные горизонты нижнеархейской коры [12-14], а также используя опубликованные данные для древнейших пород Земли, модель теплогенерации, была рассчитана для гранитогнейсового (12-20)км и гнейсо-гранулитового (20-30)км слоев докембрийской коры и самого нижнего (30-40)км автохтонного реститового слоя протокры. Согласно этим данным, вклад коры в тепловой поток составляет  $25 \text{ мВтм}^{-2}$ , или 52% от суммарного потока, а вклад мантии –  $(22-24) \text{ мВтм}^{-2}$ , или 48% от суммарного потока, Анализ предложенной модели позволяет заключить, что величина теплогенерации определяется неоднородным вертикальным строением континентальной коры.

Наряду с глубинными исследованиями, в районе СГ-3 были проведены полевые работы по изучению температурного градиента в 36 разведочных скважинах месторождения «Верхнее», измерена соленость буровой жидкости в ряде скважин, а также измерена теплопроводность 1375 образцов ядра из 21 скважины. [15-17]. Керновый материал был отобран из 23 буровых скважин и соответствовал по длине 11,5 км с вертикальным разрешением 10 м. Были выполнены детальное изучение теплопроводности, включая изучение анизотропии, неоднородности и зависимости от температуры. Компоненты тензора теплопроводности были опреде-

ленны на 1375 образцах из 21 буровой скважины в 3400 измерениях. Дополнительно, были измерены теплоемкость, теплогенерация, плотность, пористость и проницаемость на ряде отобранных образцов керна. Тепловой поток в 19 буровых скважинах изменялся между 31-45 мВт м<sup>-2</sup> со средним значением 38 мВт м<sup>-2</sup>[18]. В большинстве буровых скважин тепловой поток испытывает значительные изменения с глубиной, что соответствует аналогичным вариациям потока, наблюдаемым в верхней части СГ-3. Проведенный анализ [18] позволяет сделать вывод, что эта закономерность не является следствием технологических операций, а отражает природное явление. Причина этого эффекта – комбинация адвективной фильтрации по трещиноватой коре, структурного фактора и палеоклимата. Предварительный анализ теплового потока для изучаемой области показал, что фильтрация (трещиноватость) играет определяющую роль при подчиненном влиянии изменяющейся температуры поверхности и малозначительном вкладе структурной неоднородности пород. Площадные геотермические исследования позволили выявить пространственную неоднородность теплового поля в верхней части коры. Анализ гидро-геотермического поля Печенги выявил его связь с полем напряжений, разломной тектоникой и соответственно с неоднородной латеральной проницаемостью верхней части коры.

Полученные данные были использованы для построения двумерной тепловой модели Печенгского синклиниория, а также для прогнозного расчета глубинных температур в коре. С позиции дилатансионной модели [19] проведен анализ геотермической, сейсмической, геоэлектрической, плотностной и петрологической моделей земной коры [20-22]. При сопоставлении Р-Т условий на границах Конрада и Мохо выявлено их соответствие границам прерывистого скольжения и дислокационной пластичности соответственно. Область яркой дилатансии для геоматериалов в коре совпадает с положением зоны пониженных скоростей в разрезе СГ-3.

Автор выражает благодарность многочисленным коллегам за их участие и помощь в реализации различных разделов настоящей работы. Особую признательность хочется выразить Е.А.Любимовой, Е.В.Смирновой, Л.В.Боревскому, А.А.Кременецкому и В.Н.Николаевскому.

*Работа была выполнена при поддержке фонда Сороса и гранта INTAS-93-273.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Любимова Е.А., Милановский С.Ю. Е.В.Смирнова. Новые результаты изучения теплового потока на Балтийском щите//В сб.: История развития теплового поля в зонах различного эндогенного режима стран восточной Европы, М., Изд. МГК. 1985. С.93-110.
2. Arshavskaya, N., Galdin, N., Karus, E., Kuznetsov, O., Lubimova, E., Milanovskiy S.Y., Nartikoev V.D., Semashko S.A., Smirnova E.V. 1987 Geothermic investigations. In : Kozlovsky(Ed), The Superdeep Well of the Kola Peninsula. Springer, 1987, P.387-394.
3. Borevsky, L., Milanovsky, S., Yakovlev, L., 1995. Fluid-Thermal Regime in the Crust-Superdeep Drilling Data. In: Proc. World Geothermal Congr., Florence. P.975-981.
4. Milanovsky S.Yu.. Fluid – Thermal Regime in the Crust – Kola Hole Data. Corinth Workshop, 1998. P.42.
5. Кременецкий А. А., Овчинников Л. Н., Милановский С. Ю. Геотермические исследования и модель теплогенерации докембрийской коры северо-восточной части Балтийского щита //Геохимия глубинных пород.– М.: Наука, 1986. С. 131– 149.
6. Borevsky Leonid V., Svet.Yu.Milanovsky, Vladimir I. Morgachev and Vladimir N.Orlov. Hydrogeology of the Upper Crust in the Area of Kola Hole – Geothermal Aspects. //Annales Geophysicae , 1997. Supplement of Volume 15, P.C142.
7. Borevsky Leonid V., Yu.I.Kuznetsov, S.Yu.Milanovsky New data about peculiarities of physical properties in the Kola superdeep hole. Annales Geophysicae, 1998. Supplement of Volume 16, P.C85.
8. Popov, Y. A., Pevzner, S. L., Pimenov, V. P., Romushkevich, R. A.,. New geothermal data from the Kola superdeep well SG-3.// Tectonophysics .1999.V. 306, P.345-357.
9. Abdrakhimov M.Z., Milanovsky Svet and M.Z.Traskin Influence of Water and Drilling Fluid on the Structure and Permeability of Metamorphic Rocks at Depth 7-12 km in Kola Well.// Annales Geophysicae , 1999. Supplement of Volume 17.
10. Borevsky, L.V., Vartanyan G.S., Kulikov T.V., Hydrological essay. In : Kozlovsky(Ed), The Superdeep Well of the Kola Peninsula. Springer, 1987. P.271-287.
11. Milanovsky S.Yu, Borevsky L.V., Hydrogeology of the Upper Crust near Kola Hole –Geothermal Aspects In: Geothermics at the Turn of the Century, University of Evora, Portugal, 2000. P.75.
12. Kremenetsky A.A., S.Yu.Milanovsky and L.N.Ovchinnikov. «A heat generation model for continental crust on deep drilling in the Baltic Shield.» Tectonophysics. 1989.V.159, , P.231-246.
13. Milanovsky S., Borevsky L., Morgachev V. and A. Kremenetsky Geothermal field of precambrian crust In: Proceedings of International Conference “The Earth Thermal Field and Related Research Methods” Moscow, Russia, 2002.P.181-185.
14. Milanovsky, S.Yu. Geothermal structure of Precambrian crust. In: Structures in the Continental Crust and Geothermal Resources. Abstract Volume, 24-27 September, Siena University, Italy, 2003. p.75.
15. Clauser Christoph, Ruediger Schellerschmidt, Ilmo Kukkonen, Svet Milanovsky, Vladimir Morgachov and Leonid Borevsky. New temperature data recorded in boreholes around the Kola superdeep borehole – preliminary results. In: Heat Flow and the Structure of the Lithosphere. 4th International Workshop, , Trest Castle, Czech Republic, 1996. P.21.
16. Schellerschmidt R, Y. Popov, I. Kukkonen, G. Nover, S. Milanovsky, L. Borevsky, D. Monttaghy, C. Clauser, New heat flow data based on geothermal measurements in the immediate vicinity of the Kola superdeep well SG-3. Geophysical Research Abstracts, 2003. Vol. 5, 07720, EGS. Nice, France.

17. Schellerschmidt R., Y.Popov, I.Kukkonen, G.Nover, S.Milanovsky, L.Borevsky, D.Monttaghy, C.Clauser, Heat transfer processes in the upper crust – a case study for the region around the Kola superdeep borehole, Russia, – IUGG Abstracts, Sapporo, Japan, 2003a, volume A, N 0920, P. A.174.

18. Mottaghy D, R. Schellerschmidt, Y. A. Popov, C. Clauser, I. T. Kukkonen, G. Nover, S. Milanovsky, R. A. Romushkevich, New heat flow data from the immediate vicinity of the Kola superdeep borehole: Vertical variation in heat flow confirmed and attributed to advection. Tectonophysics. 2005.V.401, P.119-142.

19. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. Москва, Недра, 1996. 448 с.

20. Milanovsky S.Yu. «Deep geothermal structure and mantle heat flow along Barents Sea – East Alps geotraverse». Tectonophysics. 1984. V.103, P.175-192.

21. Милановский С.Ю. Николаевский В.Н. Термомеханический анализ строения континентальной коры (вдоль геотраверса Баренцево море – Восточные Альпы). Физика Земли. 1989. N1, С.83-91.

22. Milanovsky S.Yu., Nikolaevsky V.N., Continental Crust – General View on Seismic Data, Rheology, Thermal State and Petrology. In: Geothermics at the Turn of the Century, University of Evora, Portugal, 2000. P.43.

## СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ СТРУКТУРАМИ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ В СЕВЕРНОЙ, ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЯХ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОГО КРАТОНА

Миц М.В.

Геологический институт РАН, г. Москва, michael-mints@yandex.ru

Новый уровень знаний о строении литосферы Восточно-Европейского кратона (ВЕК), достигнутый за последнее десятилетие, в значительной степени определяется параллельным развитием исследований в двух направлениях. Первое направление включает изучение глубинного строения коры и верхней части мантии на базе принципиально новой информации, полученной в результате обработки Российской системы региональных и опорных профилей МОГТ (опорный профиль 1-ЕВ, профили 4В и ТАТСЕЙС) [1]. Второе направление включает создание частных и интегральных моделей литосферы, базирующихся на использовании новейших данных глубинной геофизики и современных технологий 3-мерного моделирования [5, 6]. Результаты исследований в двух взаимодополняющих направлениях позволяют обратиться к анализу соотношений между структурами земной коры и литосферной мантии: (1) охарактеризовать связи контрастных объектов, участвующих в глубинном строении литосферы, с региональными тектоническими подразделениями коры и (2) оценить взаимосвязи между особенностями строения и эволюции главных тектонических подразделений коры ВЕК с особенностями подстилающей литосферы.

**Главные черты тектонической структуры ВЕК** (рис. 1) сформированы к концу палеопротерозоя. В целом, ВЕК представляет собой палеопротерозойский аккреционно-коллизийный ороген. Архейским комплексами, неравномерно переработанными в палеопротерозое, образованы древние коровые сегменты (архейские кратоны), которые можно рассматривать в качестве фрагментов неархейского суперконтинента. Эти сегменты разделены палеопротерозойскими орогенами. Наиболее крупный и значительный из них – Лапландско-Среднерусско-Южноприбалтийский внутриконтинентальный коллизийный ороген протяженностью около 3500 км, дугой охватывающий архейский Карельский кратон, отделяя его от кратонов Кола-Мезень, Волго-Уралья и Сарматия. Уникальный по своему строению Волго-Уральский кратон (ВУК) практически нацело образован архейскими гранулитогнейсовыми комплексами.

**Главной особенностью раннедокембрийской литосферы ВЕК** (рис. 1), резко отличающей ее от фанерозойской литосферы Западной Европы, является ее значительная мощность – от 150 до более 250 км. В плане область мощной литосферы ВЕК имеет овальные очертания, ось овала вытянута в северо-северо-западном направлении. Округлая в плане область около 1000 км в поперечнике с наиболее мощной литосферой – литосферным килем, основание которого достигает глубины более 250 км, подстилает архейскую кору Карельского кратона и Беломорского орогена. Килею можно присвоить название Балтийско-Беломорского. Литосфера юго-восточной окраины ВЕК, нарушенная при формировании фанерозойских впадин, имеет сокращенную мощность (100-150 км). Литосфера повышенной мощности (около 200 км) сохраняется здесь только в пределах Волго-Уральского кратона. Примечательно, что две области мощной литосферы принципиально различаются характеристиками поля силы тяжести: литосферная мантия Балтийско-Беломорского килея характеризуется отрицательными оценками остаточных гравитационных аномалий (рис. 2), тогда как, по крайней мере, верхним 40-60 км в разрезе литосферной мантии Волго-Уралья отвечает положительная остаточная аномалия 200 мГал, резко выделяющаяся на фоне остаточной части ВЕК. Контраст еще более усиливается, если вычесть компоненту, связанную с тепловым состоянием мантии [5].