

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

Минц 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 отработки 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. Архейскими 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. Окружая 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 остальной части ВЕК. Контраст еще более усиливается, если вычесть компоненту, связанную с тепловым состоянием мантии [5].

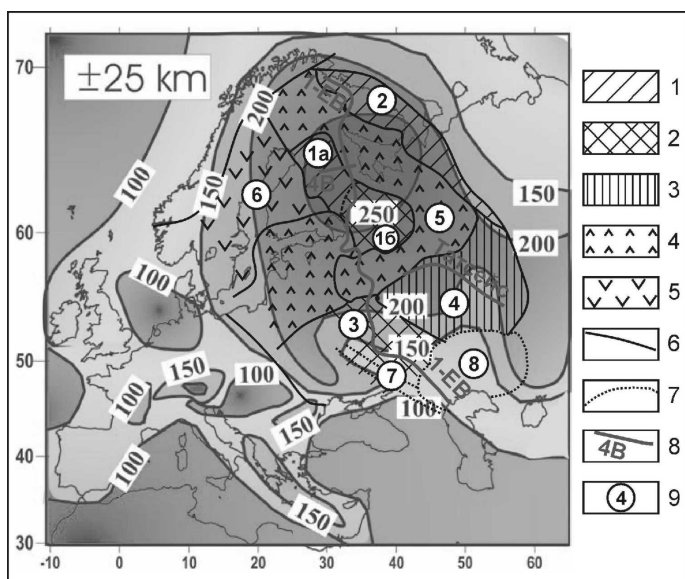


Рис. 1. Соотношения вариаций мощности литосферы с главными тектоническими структурами ВЕК (на базе интегральной модели мощности литосферы по сейсмическим, тепловым магнито-теллурическим, электромагнитным и гравитационным характеристикам [Artemieva et al., 2006 и ссылки там же]).

С учетом различий в оценках мощности «сейсмической» и «тепловой» литосферы, изолинии мощности проведены с интервалом 50 км. 1-3 – кора архейских кратонов: 1-2 – преимущественно гранит-зеленокаменного типа: ~ 2.9-2.5 млрд лет (1), ~ 3.2-2.5 млрд лет (2); 3 – гранулитогнейсового типа, ~ 2.75-2.5 млрд лет; 4-5 – кора палеопротерозойских орогенов: Лапландско-Среднерусско-Южноприбалтийского (кора архейского и палеопротерозойского возраста), 6 – Свеккофеннского (ювенильная палеопротерозойская кора); 6 – границы главных тектонических подразделений, 7 – границы фанерозойских впадин, 8 – региональные и опорные геотравессы, 9 – главные тектонические подразделения (цифры в кружках): 1-3 архейские кратоны: 1 – Карельский (1а – Карельская гранит-зеленокаменная область, ГЗО, 1б – Водлозерская ГЗО), 2 – Кола-Мезень, 3 – Сарматия (Курская ГЗО), 4 – Волго-Уралья (гранулитогнейсовый ареал); 5-6 – палеопротерозойские орогены: 5 – Лапландско-Среднерусско-Южноприбалтийский внутриконтинентальный коллизионный оротен, 6 – Свеккофеннский аккреционный оротен; 7-8 фанерозойские впадины: 7 – Днепровско-Донецкая, 8 – Прикаспийская

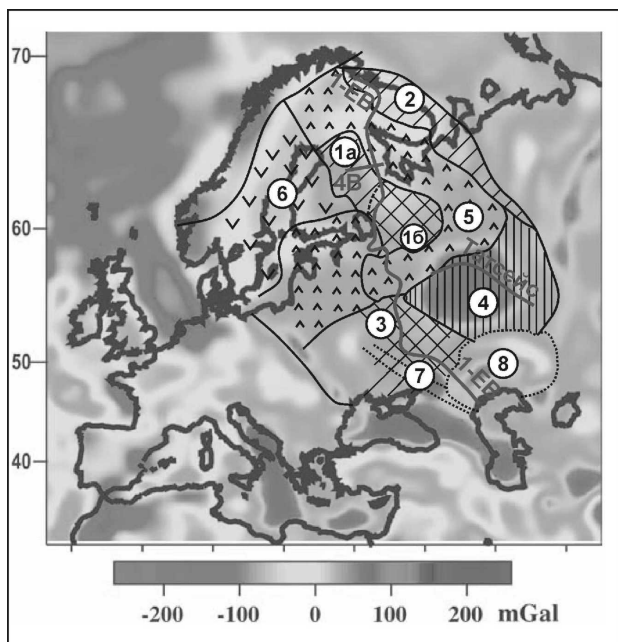


Рис. 2. Взаимосвязи между распределением остаточных гравитационных аномалий в мантии и главными тектоническими структурами ВЕК (на базе модели [Artemieva et al., 2006])

Аномалии отображают вариации плотности, которые определяются изменениями состава или температуры преимущественно в верхних 40-60 км подкоровой литосферы. Полученный результат кардинально зависит от представления структуры коры по сейсмическим данным, поскольку распределение плотности в коре было получено в результате конвертации скоростных характеристик. Оценки, полученные в этой модели, приблизительно на 50 мГал выше в сравнении с предыдущей версией [Yegorova, Starostenko 2002], однако конфигурация литосферных объектов близка

Новые данные, полученные вдоль опорных сейсморазведочных профилей, создали базис для разработки объемных моделей глубинного строения крупных сегментов ВЕК: Лапландско-Кольского, Карело-Беломорского, Среднерусского, Восточноворонежского и Волго-Уральского [2]. Мощность коры архейских кратонов близка 40 км. Несколько пониженной мощностью коры отличается Беломорский пояс – 35-40 км. Карельский кратон в его «внутренней» области имеет кору мощностью 40 км, лишь в пределах его юго-восточной окраины, вовлеченной в палеопротерозоевое в коллизионное взаимодействие с формирующимися структурами Свеккофеннского и Лапландско-Среднерусско-Южноприбалтийского орогенов, кора достигает мощности 50 км. Мощностью около 40 км характеризуется кора Кольского кратона. Относительно повышенной мощностью отличается кора Курской гранит-зеленокаменной области на северо-востоке кратона Сарматия – около 50 км, однако эта оценка одновременно характеризует кору палеопротерозойского Липецко-Лосевского орогена. Гранулитогнейсовая кора Волго-Уральского кратона характеризуется повышенной мощностью – 50, локально – до 60 км.

Связи наиболее значительных неоднородностей литосферы, с региональными тектоническими подразделениями коры можно охарактеризовать следующим образом: (1) относительно низко-плотная литосфера, слагающая Балтийско-Беломорский киль, подстилает наиболее значительное образование архейской

коры ВЕК, которое можно обозначить как Карело-Кольский композитный кратон; (2) менее значительный по размерам и имеющий меньшую мощность, но относительно повышенную плотность объем литосферы подстилает Волго-Уральский кратон.

В свою очередь, анализ *взаимосвязей между особенностями строения и эволюции главных тектонических подразделений коры ВЕК с особенностями подстилающей литосферы* позволяет обнаружить следующие закономерности.

(1) Карело-Кольский композитный кратон, в строении которого преобладают гранит-зеленокаменные ассоциации, созданные в результате последовательных этапов надсубдукционного корообразования, подстилается особенно мощной литосферой – Балтийско-Беломорским килем. Овальная область, отвечающая этому килю на уровне дневной поверхности, пересекается в северо-западном направлении по диаметру поясом мезо- и неогархейских субдукционных эклогитов, фиксирующим мощную зону поглощения океанической коры в архейской зоне субдукции, погружавшейся в к северо-востоку (в современных координатах). Результатом стало объединение Карельского и Кола-Мезеньского кратонов около 2.8 млрд лет назад и возникновение коллизионного орогена, мощность коры которого достигала 70 км [3]. С дальнейшей эволюцией этой области аномально мощной коры связано формирование неогархейских и палеопротерозойских нижнекоровых эклогитов, заложение рифтовой системы, преобразованной к концу палеопротерозоя в Лапландско-Среднерусско-Южноприбалтийский внутриконтинентальный коллизионный ороген. Позднее особенности строения этой области предопределили локализацию рифей-фанерозойского Кандалакшского рифта.

(2) Формирование гранулитогнейсовой коры Волго-Уральского кратона обязано интенсивному проявлению плюмовой активности 2.75-2.5 млрд лет назад [4]. Повышенная плотность верхней части подстилающей литосферы, вероятно, связана с этим специфическим сценарием архейского корообразования.

Таким образом, можно выделить два типа эволюции древней литосферы ВЕК: первый – связанный с длительным функционированием субдукционных систем, результатом которого стало последовательное возникновение и объединение континентальных образований и формирование мощной относительно низкоплотной литосферы с центральным килем; второй – с преобладающей ролью высокотемпературных процессов плюмового корообразования, сформировавших четко локализованную область литосферы повышенной плотности.

Литосфера палеопротерозойского Свекофеннского аккреционного орогена имеет промежуточные характеристики между архейской литосферой ВЕК и Западно-Европейской областью фанерозойских орогенов. Формирование палеопротерозойского Лапландско-Среднерусско-Южноприбалтийского внутриконтинентального орогена, равно как и последовавшие в фанерозое импульсы магматической и тектонической активности не привели к перестройке литосферы, результаты которой можно было бы распознать на уровне доступной сегодня детальности моделирования.

Напротив, формирование фанерозойских впадин в южной части ВЕК привело к кардинальному сокращению мощности литосферы (до 100-150 км), что можно рассматривать как результат интенсивного термального воздействия плюмового типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы Международного научно-практического семинара «Модели земной коры и верхней мантии» (по результатам глубинного сейсмопрофилирования). Роснедра, ВСЕГЕИ. С-Пб. Изд-во ВСЕГЕИ. 2007. 245 с.
2. Минц М.В. Глубинное строение и эволюция раннедокембрийской коры Восточно-Европейского кратона: данные по профилям 1-ЕВ, 4В, Татсейс, ЭГТИ, FIRE-1, FIRE-4, ERSU-2003-2005 // Матер. Межд. научно-практ. семинара «Модели земной коры и верхней мантии» (по результатам глубинного сейсмопрофилирования). С-Пб. ВСЕГЕИ. 2007. С. 106-109.
3. Минц М.В., Ветрин В.Р., Конилов А.Н.. Эволюция, строение и термальная структура коры Лапландско-Беломорской области в раннем протерозое: интеграция результатов геологического и петрологического изучения Лапландских гранулитов и глубинных ксенолитов и данных сейсмического профилирования. Материалы I-го Всероссийского петрографического совещания «Петрография на рубеже XXI века». Т. IV. Сыктывкар. 2000. С. 290-293.
4. Филиппова И.Б., Минц М.В., Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Трусев А.А. Глубинное строение неогархейского Волго-Уральского гранулитогнейсового ареала: свидетельства плюмовой природы гранулитового метаморфизма // Гранулитовые комплексы в геологическом развитии докембрия и фанерозоя. Матер. II Росс. конф. по проблемам геологии и геодинамики докембрия. С-Пб. ИП Коталкина. 2007. С. 357-361.
5. Artemieva I.M., Thybo H., Kaban M.K. Deep Europe today: geophysical synthesis of the upper mantle structure and lithospheric processes over 3.5 Ga. In: Gee D.G., Stephenson R.A. (eds). European Lithosphere Dynamics. Geological Society, London, Memoirs. 2006. V. 32. P. 11-41.
6. Yegorova T. P., Starostenko V. I. Lithosphere structure of Europe and Northern Atlantic from regional three-dimensional gravity modeling // Geophysical Journal International, 2002. V. 151. P. 11-31.