

Номер проекта: 12-05-00603-а

Название проекта: Крупномасштабные тектонические движения на континентах как следствие поступления в литосферу мантийных флюидов

Коды классификатора, соответствующие содержанию фактически проделанной работы (в порядке значимости): 05-111 05-143 05-421

1. Объявленные ранее цели проекта на 2013 год

Главной задачей проекта является выявление основных механизмов крупномасштабных вертикальных движений земной коры на континентах. В 2012 г. главные механизмы, связанные с метаморфизмом в пределах коры и с конвективным замещением подкоровой литосферы менее плотной астеносферой, были предложены нами в достаточно общей форме. Поэтому было необходимо провести их детализацию и сопоставление с другими механизмами, предложенными ранее и широко используемыми в геодинамических построениях. Знание механизма крупных погружений коры в последнее время приобрело особое значение в связи с проблемой внешней границы континентального шельфа в глубоководных впадинах Восточной Арктики.

2. Степень выполнения поставленных в проекте задач

Задачи, поставленные в проекте исследований на 2013 год полностью выполнены.

За рубежом широко используется механизм динамической топографии, создаваемой на кровле астеносферы конвективными течениями в мантии. Проведенное нами в этом году рассмотрение показало, что к новейшим поднятиям земной коры на континентах данный механизм неприменим, и их главными причинами служат конвективное замещение астеносферой мантийной части литосферы и разуплотнение пород в земной коре вследствие диафтореза. Относительная роль этих механизмов оставалась, однако, неясной. Анализ данных сейсмической томографии показал, что в большинстве областей с корой докембрийского возраста, покрывающими 70% площади континентов, мощность литосферы сохранилась высокой, 200-300 км и более. Поэтому основная часть новейших поднятий была там связана с разуплотнением пород в земной коре при поступлении в нее мантийного флюида. Судя по сильной латеральной неоднородности новейших поднятий в областях с корой фанерозойского возраста, диафторез в породах земной коры в них широко проявился одновременно с разрушением значительной части мантийной литосферы. Таким образом, в глобальном масштабе разуплотнение пород в земной коре в новейшую эпоху оказалось в несколько раз более мощным процессом, чем разрушение мантийной литосферы. Анализ распределения на площади новейших поднятий в области Джунгарского Алатау показал, что их характерный горизонтальный масштаб составлял там менее 10 км. Это свидетельствует о почти полном разрушении упругого слоя в земной коре. Совместный анализ сейсмических и гравиметрических данных показал, что в бассейнах юго-восточной части Российского сектора Арктики большая доля изостатической компенсации осуществляется за счет мощного слоя тяжелых эклогитов, расположенных под разделом Мохо. При этом общая мощность кислых и основных пород кристаллической части коры, включая слои, расположенные выше и ниже раздела Мохо, оказывается равной примерно 40 км. В крупных областях такая большая мощность характерна только для континентальной коры, что указывает на принадлежность бассейнов к континентальному шельфу России.

3. Полученные важнейшие результаты

I. Одной из главных проблем в геодинамике является природа вертикальных движений земной коры на континентах. Ее решению посвящена, в частности, крупнейшая международная программа «ТОРО-EUROPE» [Cloetingh, Willet, Tectonophysics, 2013, v. 602, p. 1-14]. В 2011-2012 гг. для объяснения плиоцен-четвертичных поднятий коры на континентах, охвативших около 90% их площади, нами были предложены частичное или полное конвективное замещение астеносферой подкоровой литосферы, а также разуплотнение пород в пределах земной коры в результате ретроградного метаморфизма - диафореза [Артюшков, Докл. РАН, 2012, т. 445, № 6, с. 656-662; Артюшков, Геология и геофизика, 2012, т. 53, № 6, с. 738-560; Артюшков, Вестник РАН, 2012, т. 82, № 12, с. 1075-1091]. Оба механизма предполагают необходимость поступления в литосферу в новейшее время крупных объемов мантийного флюида. Эти механизмы сильно отличаются от других механизмов, широко используемых зарубежными исследователями для объяснения крупных поднятий земной коры. Поэтому нам потребовалось провести специальный анализ, чтобы показать неприменимость основных современных моделей для объяснения новейших поднятий коры, представляющих наиболее мощное явление в континентальной литосфере.

Чаще всего, следуя [Dewey, Bird, J. Geophys. Res., 1970, v. 75, p. 2625-2647], крупные поднятия коры объясняют сильным сжатием коры. В упомянутых выше работах нами было показано, что на преобладающей части площади континентов новейшие поднятия коры ее сильным сжатием не сопровождалась. Прежде всего, это относится к покрывающей 70% площади континентов коре докембрийского возраста, сжатие которой завершилось 0.5 млрд. лет назад или раньше, а также к коре палеозойского и киммерийского возраста, где сжатие закончилось ≥ 100 млн. лет назад. Даже на коре альпийского возраста ее новейшие поднятия сопровождалась сильным сжатием лишь в отдельных областях, например, в Гималаях, Восточных Андах и на южном склоне Большого Кавказа. Современное горное сооружение Альп сформировалось за последние 5 млн. лет, после того как 99% сжатия в них уже закончилось [Trümpy, Bull. Geol. Soc. Amer., 1960; v. 71, p. 341-363; Synthetic structural-kinematic map of Italy, 1989. Roma].

Зарубежными исследователями для объяснения вертикальных движений коры на континентах и под океанами чрезвычайно широко используются конвективные течения в мантии, создающие динамическую топографию на поверхности астеносферного слоя [Boschi et al., Geophysical Research Letters, 2010, v. 37, L20303; Braun, Nature Geoscience, 2011, v. 3, p. 825-833; Moucha, Forte A.M, Nature Geoscience, 2011, v. 4, p. 707-712; Flament et al., Lithosphere, 2013, v. 5, no 2, p. 189-210, doi: 10.1130/L2451.1 и многие другие]. Этот механизм, в принципе, может обеспечить крупные поднятия и погружения коры без ее сильного сжатия, но, как показал проведенный анализ, он является чисто гипотетическим. В нем моделируются течения в мантии, обусловленные дрейфом литосферных плит и движениями плотностных неоднородностей, существующих в мантии, судя по данным сейсмической томографии. Для определения по этим данным отклонений поверхности астеносферы от равновесного положения необходимо задавать пространственное распределение вязкости мантии под литосферой, которое, в лучшем случае, известно с точностью до одного порядка величины. Должна также быть задана зависимость возмущений плотности мантии от аномалий скоростей упругих волн, которая в действительности является весьма дискуссионной. В результате распределение вертикальных смещений литосферы на площади для разных моделей оказывается существенно разным, а величина смещений в каждой конкретной области может отличаться на порядок величины.

Чтобы оценить применимость динамической топографии, рассчитанной рядом разных авторов, в том числе в указанных выше работах, мы сопоставили ее с новейшими поднятиями коры, которые произошли в плиоцен-четвертичную эпоху на разных континентах [Неотектоническая карта мира, 1:15 000 000, ред. Н.И. Николаев и др., М., Мингео СССР, Мин. высш. и средн. спец. образ. СССР, 1981; Карта новейшей тектоники Северной Евразии, 1:5 000 000, гл. ред. А.Ф. Грачев, МПР России, РАН, М., 1997 и др.]. Обнаружилось, что никакого соответствия между этими величинами не существует. Так, например, для Восточной Европы, Западной и Восточной Сибири, а также для Казахстана большинством исследователей предполагается погружение поверхности астеносферы на 1000 м и более. В действительности все эти области испытали новейшие поднятия. В Восточной Сибири на севере Урала и в Казахстане они достигают 500-1000 м и более. Для основной части Африканского континента также предполагается погружение поверхности астеносферы с проявлением крупного поднятия лишь в относительно небольшой области на северо-востоке. В плиоцен-четвертичное время почти вся Африка была, однако, вовлечена в поднятия. Это показывает неприменимость модели динамической топографии для объяснения новейших поднятий земной коры на континентах. Статья, посвященная данной проблеме, подготавливается для журнала «Геология и Геофизика».

II. Для выяснения относительного вклада повторного метаморфизма в новейшие поднятия в 2013 г. мы провели рассмотрение детальных данных о площадном распределении новейших поднятий в ряде областей с корой докембрийского возраста. В результате было обнаружено широкое распространение крутых флексур шириной в несколько десятков километров, что указывает на неравномерное по площади разуплотнение пород вследствие диафтореза в пределах корового слоя. На Анабарском и Алданском щитах высота флексур достигает 0.5 км. Существование этих структур не может быть объяснено изгибом докембрийской литосферы мощностью ≥ 200 км под влиянием течений в мантии, поскольку такой изгиб должен происходить на расстояниях в сотни километров. Крайне неожиданной оказалась сильная латеральная неоднородность послеледниковых поднятий на докембрийском Кольском полуострове, развивавшихся в голоцене со скоростями порядка сантиметра в год [Романенко, Шилова, Докл. РАН, 2012, т. 442, № 4 с. 544-548]. В ряде мест здесь существуют флексуры шириной в десятки километров и высотой сотни метров. Такая неоднородность непосредственно указывает на существование в земной коре под данной областью слоя с сильно пониженной вязкостью. По сейсмическим данным, существование в коре слоя с пониженной вязкостью предполагалось для некоторых областей с интенсивной новейшей тектоникой, например, для Тянь-Шаня [Винник и др., Физика Земли, 2006, № 8, с. 14-26]. В отличие от данных по развитию новейших поднятий на площади, сейсмические данные ранее не позволяли, однако, однозначно установить резкое понижение вязкости в земной коре на малых глубинах в присутствии флюида. Полученные результаты будут опубликованы в Докладах РАН. Они имеют важные следствия для проблем металлогении и сейсмического районирования и могут также существенно изменить современные представления о механизмах движений коры в областях, освободившихся от ледниковой нагрузки и в областях, прилегающих к крупным водохранилищам. Согласно предварительным сейсмическим и гравиметрическим данным, на северо-востоке Евразии наблюдается сокращение мощности упругой части литосферы до 12-15 км, что указывает на понижение вязкости коры и в этой области. Предварительный анализ данных о новейших поднятиях в горном массиве Джунгарского Ала-Тау показал, что, судя по характеру деформаций, упругий слой в верхней коре там сокращается по мощности до нескольких километров.

III. В последние годы большую важность приобрел вопрос о природе консолидированной коры (континентальная, или океаническая) в глубоководных впадинах российского сектора Восточной

Арктики. На поднятии Менделеева и в котловине Подводников ее мощность (до 20-30 км) значительно выше средней мощности океанической коры (7 км) и скорее соответствует коре континентального типа. Скорости продольных волн в консолидированной коре этих областей существенно повышены, однако, и близки к значениям, характерным для океанической коры. На данной основе большинство зарубежных ученых предполагает, что в указанных областях залегает океаническая кора, мощность которой оказалась сильно повышенной в результате выплавления большого объема базальтовых магм из крупного мантийного плюма [Jokat, Geophys. J. Int., 2003, v. 152, p. 185-201 и др.]. В таком случае эти области относятся не к юридическому шельфу РФ, а к международным водам.

Чтобы получить надежные критерии для определения природы аномальной коры с указанными параметрами, нами было предпринято специальное исследование. Оно показало, что в сверхглубоких осадочных бассейнах, Восточно-Баренцевском, Северо-Чукотском, Прикаспийском и Южно-Каспийском, плотность консолидированной коры мощностью 12-20 км и скорости продольных волн примерно такие же, как и в коре океанического типа. История погружения в этих бассейнах резко отличается, однако, от характерной для коры океанического типа.

Образовавшись на оси спрединга, океаническая кора испытывает погружение в результате охлаждения коры и мантии в литосферной плите. При этом скорость погружения быстро уменьшается во времени, и через ~80 млн. лет погружение практически заканчивается. В указанных сверхглубоких бассейнах погружение продолжалось сотни миллионов лет, и при этом, формирование, по крайней мере, половины осадков происходило через ≥ 100 млн. лет после начала погружения, т.е. в ту эпоху, когда погружение океанической коры должно было уже давно закончиться. Кроме того, эти бассейны, по крайней мере, на 4 км глубже, чем можно было бы ожидать при компенсации погружения только за счет утонения консолидированной коры. Как было показано нами в 2012 г. на основе совместного анализа данных ГСЗ и гравиметрических данных, под разделом Мохо в бассейнах залегает слой эклогитов мощностью ~20 км, более плотных, чем мантийные перидотиты, но характеризующихся примерно такими же скоростями продольных волн. По своему химическому составу эклогиты относятся к земной коре. Вместе с расположенной над разделом Мохо консолидированной корой мощностью 12-20 км они образуют консолидированную кору мощностью 30-40 км, характерной для нормальной континентальной коры. Эти результаты указывают на образование указанных сверхглубоких прогибов на коре континентального типа, что может быть использовано для доказательства существования континентальной коры в Российском секторе Восточной Арктики.

Как показал наш доклад в октябре этого года на Ассамблее 3P ARCTIC в Ставангере (Норвегия), организованной Американским Обществом геологов-нефтяников (AAPG), указанные аргументы для зарубежных ученых являются весьма убедительными, поскольку они основаны на общепринятых геодинамических моделях. Поэтому сопоставление строения консолидированной коры в сверхглубоких прогибах и на поднятии Менделеева и в котловине Подводников может послужить серьезным аргументом в пользу принадлежности данных структур к российскому юридическому шельфу.

4. Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта

Для оценки возможного вклада динамической топографии, создаваемой конвективными течениями в мантии, в новейшие поднятия коры нами было проведено сопоставление карт динамической топографии, рассчитанных зарубежными авторами, с реальными распределениями новейших поднятий на континентах. Резкое различие между этими величинами показало

несостоятельность широко распространенных представлений о большой роли динамической топографии в континентальной тектонике. Для определения механизма новейших поднятий и реологических свойств коры докембрийского возраста были также детально проанализировано распределение новейших поднятий в регионах с корой этого возраста. При этом выяснилось, что в ряде областей обусловленное диафорезом разуплотнение пород в земной коре при поступлении в нее мантийного флюида распределено на площади крайне неравномерно. Сильная неоднородность послеледниковых поднятий на Кольском полуострове впервые позволила установить существование внутри докембрийской коры слоя с резко пониженной вязкостью. Анализ сейсмических и гравиметрических данных по сверхглубоким осадочным бассейнам показал, что эти структуры образовались на типичной континентальной коре, плотность и скорости продольных волн в которой оказались резко измененными вследствие метаморфизма. В результате верхняя часть континентальной коры, расположенная над разделом Мохо, приобрела плотность и скорости, характерные для океанической коры.

5. Степень новизны полученных результатов

Основными механизмами крупных поднятий коры обычно считаются ее сильное сжатие и конвективные течения в мантии. Часто рассматриваются также подход к литосфере крупных мантийных плюмов, изгиб этого слоя под влиянием дальнедействующих сил и деламинация подкоровой части литосферы. В 2012 г. нами было установлено, что новейшие поднятия коры, охватившие 90% площади континентов, сильным сжатием коры не сопровождались, а подход к литосфере мантийных плюмов в плиоцен-четвертичное время проявился лишь на очень небольшой части площади континентов. В 2013 г. удалось показать, что конвективные течения в мантии существенного влияния на новейшие поднятия земной коры на континентах не оказали. Изгиб литосферы под влиянием дальнедействующих сил может приводить к ее значительным вертикальным смещениям лишь в областях размером не более нескольких сотен километров, и при этом интегралы по площади от поднятий и погружений коры должны быть сопоставимы. В действительности в плиоцен-четвертичное время на континентах преобладали поднятия коры, а погружения коры играли подчиненную роль. Деламинация подкоровой литосферы чаще всего предполагается в связи с их субдукцией, которая во внутриплитных областях, занимающих основную часть площади континентов, не происходит. Рассматриваемое нами постепенное конвективное замещение подкоровой литосферы это совершенно другой процесс, который проявляется во многих областях с корой фанерозойского возраста. Утоненная консолидированная кора с повышенными скоростями продольных волн в глубоких осадочных бассейнах многими исследователями относится к океаническому типу. Нами установлено, что в ряде сверхглубоких осадочных бассейнов под осадками в действительности залегает континентальная кора, претерпевшая глубокий метаморфизм. Существование такой коры можно предполагать также под глубоководными впадинами Восточной Арктики.

6. Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем

В настоящее время во всем мире крупномасштабные вертикальные движения земной коры на континентах большинством исследователей рассматриваются в первую очередь как результат деформаций, возникающих под влиянием сил, действующих на литосферный слой в горизонтальном и вертикальном направлениях. При этом, задавая различные реологические параметры данного слоя, получают множество моделей, применимость которых к реальной ситуации часто остается дискуссионной. Проведенные нами исследования показывают, что главными причинами вертикальных движений континентальной коры в действительности служат

протекающий в ней метаморфизм и конвективное замещение подкоровой литосферы менее плотной астеносферой. Оба процесса осуществляются при поступлении в литосферу значительных объемов мантийного флюида. Эти результаты имеют важные следствия для проведения надежного сейсмического районирования и понимания глубинной природы металлогенических процессов. За рубежом и в нашей стране изменения скоростей упругих волн в земной коре по глубине и по латерали при одинаковых P/T условиях обычно объясняют изменениями среднего химического состава пород. Как показали наши исследования, при одном и том же составе пород, скорости упругих волн и плотность в них могут сильно различаться в зависимости от степени метаморфизма. В результате, например, на востоке Балтийского щита континентальная кора мощностью 60 км оказывается расположенной примерно на такой высоте над уровнем моря, как кора в Северной Германии, где ее мощность составляет 30-40 км. Этот результат имеет важные геополитические следствия, в частности, для определения внешней границы континентального шельфа в Восточной Арктике.

7. Публикации

Количество научных работ, опубликованных в ходе выполнения проекта	8
Из них включенных в перечень ВАК	2
Из них включенных в системы цитирования	2
Количество научных работ, подготовленных и принятых к печати в 2013 г.	2

Библиографический список всех публикаций по проекту за весь период выполнения проекта, предшествующий данному отчету, в порядке значимости: монографии, статьи в научных изданиях, тезисы докладов и материалы съездов, конференций и т.д.

1. Artyushkov E.V. Neotectonic crustal uplifts as a consequence of mantle fluid infiltration into the lithosphere // Russian Geology and Geophysics. 2012, v. 53, No. 6, 566-582.¹
2. Artyushkov E.V. Vertical Crustal Movements on the Continents As a Reflection of Deep-Seated Processes in the Earth's Crust and Mantle: Geological Effects // Herald of the Russian Academy of Sciences, 2012, Vol. 82, No. 6, pp. 432–446. DOI: 10.1134/S101933161206007X²
3. Artyushkov E.V. Pliocene-Pleistocene Uplifts of Continental Crust As a Consequence of Infiltration of Mantle Fluids // Doklady Earth Sciences, 2012, Vol. 445, Part 2, pp. 973–978. DOI: 10.1134/S1028334X12080193³
4. Артюшков Е.В. Новейшие поднятия земной коры как следствие инфильтрации в литосферу мантийных флюидов // Геология и геофизика, 2012, т. 53, № 6, с. 738-760.

Как показывает большой объем фактических данных, основная часть крупных современных положительных форм рельефа сформировалась на дрейфующих континентах в результате резкого ускорения поднятий коры в плиоцен-четвертичное время после периода относительной стабильности, в большинстве областей продолжавшегося ~ 100 млн лет. Для описания используемых методов приведен пример хорошо изученных областей крупных новейших поднятий на Тибетском плато и в Гималаях. К северу от них новейшие поднятия с амплитудами от нескольких сотен метров до нескольких километров охватили огромную область, от Центрального и Северо-Восточного Китая на юге до Таймыра и Северо-Восточной Азии на севере. Их часто связывают со столкновением Индийской и Азиатской плит, начавшимся ~ 50

¹ Аннотацию см. далее в библиографии к русскоязычной версии статьи

² Аннотацию см. далее в библиографии к русскоязычной версии статьи

³ Аннотацию см. далее в библиографии к русскоязычной версии статьи

млн лет назад. Основная часть поднятий в указанных областях осуществилась лишь за последние несколько миллионов лет, не сопровождаясь значительным сжатием коры. В таких условиях крупные новейшие поднятия коры можно объяснить понижением плотности вещества в литосферном слое. Одной из причин было быстрое конвективное замещение астеносферой или веществом мантийного плюма нижней части более плотной мантийной литосферы. Это оказалось возможным благодаря резкому размягчению мантийной литосферы при поступлении в нее флюидов из астеносферы. В ряде мест значительный подъем кровли астеносферы фиксируется по данным сейсмической томографии. Под областями новейших поднятий коры на ~ 1.0 км в Центральной Азии была разрушена нижняя часть мантийной литосферы толщиной 50-100 км. В областях с мощной литосферой имели место относительно небольшие новейшие поднятия, сильно неоднородные по площади. Они свидетельствуют о метаморфизме с разуплотнением пород основного состава в нижней коре при инфильтрации в нее флюида из астеносферы. Проявление в плиоцене и плейстоцене крупных поднятий коры на разных континентах указывает на квазисинхронное поступление в их литосферу больших объемов мантийного флюида.

5. Артюшков Е.В. Вертикальные движения земной коры на континентах как отражение глубинных процессов в коре и мантии Земли: геологические следствия // Вестник РАН. 2012, т. 82, № 12, с. 1075-1091.

Большой объём проведённых исследований позволяет утверждать, что новейшая геологическая история Земли характеризуется быстрыми вертикальными движениями земной коры, в результате которых образовались обширные поднятия и глубокие впадины. Существующие геологические концепции не позволяют точно объяснить природу этих процессов. Автор научного сообщения предлагает своё объяснение с позиций фундаментальной науки, которое, однако, позволит прогнозировать не только будущие тектонические движения, но и разработать механизм поиска крупных месторождений полезных ископаемых.

6. Артюшков Е.В. Плиоцен-четвертичные поднятия земной коры на континентах как результат инфильтрации в литосферу флюидов из нижележащей мантии // Докл. РАН, 2012, т. 445, № 6, с. 656-662.

В плиоцен-четвертичное время на основной части площади континентов произошло резкое ускорение восходящих движений земной коры. В результате сформировалось большинство высоких плато, горных сооружений и других современных положительных форм рельефа. На преобладающей части площади поднятия коры не сопровождались ее существенным сжатием и были обусловлены значительным понижением плотности пород в литосферном слое. Разуплотнение осуществлялось за счет частичного или полного замещения астеносферой более плотной мантийной литосферы, а также в результате повторного метаморфизма, диафореза, в породах основного состава в земной коре. Оба этих механизма требовали поступления в литосферу из мантии больших объемов флюида на основной части площади континентов. Новейшие поднятия коры представляют собой наиболее мощное явление, протекающее в континентальной литосфере. Оно не связано с поступлением к ней мантийных плюмов.

7. Артюшков Е.В., Беляев И.В., Казанин Г.С., Павлов С.П., Чехович П.А., Шкарубо С.И. Образование сверхглубоких осадочных бассейнов вследствие метаморфизма с уплотнением пород в континентальной коре. Доклады РАН, 2013, т. 452, № 5, с. 539-542. DOI: 10.7868/S086956521330018X

В сверхглубоких осадочных бассейнах мощность осадков достигает 15-20 км. Совместный анализ данных ГСЗ о строении их коры и гравиметрических данных показывает, что под разделом Мохо во впадинах залегают эклогиты со скоростями продольных волн, близкими к скоростям в мантийных перидотитах. Во впадинах проявлялось лишь умеренное растяжение коры, и их формирование было обусловлено главным образом переходом габброидов в нижней части континентальной коры в тяжелые эклогиты. Переход происходил эпизодически в ходе инфильтрации в нижнюю кору мантийных флюидов. Его осуществлению способствовало повышение давления в нижней коре при накоплении осадков. При повышении температуры и давления под мощным слоем осадков в сиалической верхней коре развивался умеренный метаморфизм. В высокожелезистых метаосадочных породах глубокий метаморфизм приводил к повышению плотности и скорости продольных волн до значений, характерных для коры океанического типа.

8. E. V. Artyushkov, I. V. Belyaev, G. S. Kazanin, S. P. Pavlov, P. A. Chekhovich, S. I. Shkarubo. The formation of ultradeep sedimentary basins through metamorphism with rock contraction in continental crust // Doklady Earth Sciences October 2013, Volume 452, Issue 2, pp 988-991. DOI 10.1134/S1028334X 13100085⁴

⁴ Аннотацию см. выше в библиографии русскоязычной версии статьи

9. Артюшков Е.В. Неотектонические поднятия земной коры на континентах как результат инфильтрации в литосферу большого объема мантийного флюида // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. т. 1, М., ИФЗ РАН, 2012, с. 30-38.

Основная часть современных горных сооружений, высоких плато, кристаллических щитов и других оложительных форм рельефа образовалась вследствие резкого ускорения восходящих движений коры за последние несколько миллионов лет. Ускорение поднятий на дрейфующих континентах произошло после периода относительной стабильности, продолжавшегося ~100 млн. лет и дольше. Поднятия с амплитудами от нескольких сотен метров до нескольких километров проявились на 90% площади континентов. Крупные поднятия коры обычно связывают с ее изостатической реакцией на увеличение толщины этого слоя при сжатии. 70% площади континентов подстилается корой докембрийского возраста, сжатие которой завершилось ~500 млн. лет назад. Тем не менее, на докембрийской коре в новейшее время почти повсюду произошли поднятия. Они достигают 1-2 км на юге и востоке Африки, а также в Восточной Антарктике и Гренландии. В Центральной и Западной Австралии, на Бразильском щите и на Восточно-Сибирской платформе новейшие поднятия составили 0.5-1 км. На 30% площади континентов земная кора сформировалась в результате сильного сжатия в палеозое, мезозое и кайнозое. В образовавшихся складчатых поясах горообразование обычно происходило через ~10-100 млн. лет после завершения сжатия. После долгого периода относительной стабильности основная часть фанерозойских складчатых поясов была вовлечена и в новейшие поднятия. Так, в Аппалачах и Скандинавских Каледонидах они составили 0.5-1.0 км, а в герцинидах Центральной Азии – 1-2 км и более. Формирование современного горного сооружения Альп произошло после того, как 99% сжатия коры в них уже завершились. За последние несколько миллионов лет сильное сжатие одновременно с горообразованием проявилось лишь в отдельных областях, например, в Гималаях и на Большом Кавказе. В подавляющем большинстве областей новейшие поднятия не сопровождались значительными нарушениями изостазии. В таких условиях поднятия указывают на значительное понижение плотности вещества в литосферном слое. Одной из возможных причин может быть быстрое конвективное замещение астеносферой нижней части более плотной мантийной литосферы. Оно оказалось возможным благодаря резкому размягчению мантийной литосферы при поступлении в нее флюидов из астеносферы. В ряде мест значительный подъем кровли астеносферы фиксируется по данным сейсмической томографии. Под областями новейших поднятий коры на ~ 1-3 км в Центральной Азии была разрушена нижняя часть мантийной литосферы толщиной ~ 50-100 км. На древних платформах с мощной литосферой во многих местах новейшие поднятия были сильно неоднородны на площади. Они были обусловлены метаморфизмом с разуплотнением пород основного состава в пределах коры при инфильтрации в нее мантийных флюидов. Проявление в плейстоцене и плейстоцене крупных поднятий коры на разных континентах указывает на квазисинхронное поступление в их литосферу больших объемов мантийного флюида из нижележащей астеносферы [1]. Такие события имели место и в более ранние геологические эпохи. Глобальный характер новейших поднятий исключает их связь с мантийными суперплюмами, в новейшую эпоху проявлявшимися лишь на небольшой части площади континентов.

10. Artyushkov E. The Moho discontinuity in superdeep sedimentary basins as a top of the layer of deeply metamorphosed mafic rocks in the lower crust // Geophysical Research Abstracts. v. 14 EGU Assembly 2012, Vienna, p. 4509.

Большое число геофизических данных указывает на то, что под сверхглубокими осадочными бассейнами на континентах и на их окраинах (Восточно-Баренцевский, Северо-Каспийский, Южно-Каспийский, Северо-Чукотский) поверхность Мохо сильно прогнута. В осадочном чехле таких бассейнов, имеющем мощность до 20 км, нет признаков сильного растяжения, а в гравитационном поле не наблюдаются значительные аномалии силы тяжести. Это с очевидностью указывает на присутствие под разделом Мохо крупных тел тяжелых эклогитов, которые по скоростным характеристикам близки к мантийным перидотитам. Эпизоды быстрых погружений, фиксирующиеся в истории сверхглубоких бассейнов, были связаны с резким ускорением фазового перехода габбро в эклогит, что может быть объяснено инфильтрацией мантийных флюидов в нижнюю кору. Тонкие (до 10-5 см) пленки поверхностно-активного флюида в межкристаллическом пространстве понижают вязкость пород на несколько порядков величины, что приводило к потере их прочности и образованию крутых флексур в фундаменте сверхглубоких бассейнов. Понижение вязкости приводит и к другому важному явлению – конвективному замещению мантийной литосферы астеносферой, что должно вызывать интенсивные поднятия на поверхности коры. Под многими регионами, испытывавшими быстрые поднятия за последние миллионы лет, согласно данным сейсмической томографии и результатам изучения удельной электропроводности мантийной литосферы зафиксирован подъем кровли астеносферного слоя.

11. Artyushkov E., Chekhovich P. Rapid paleodepth changes in epeiric Paleozoic basins as a consequence of crustal uplift and subsidence // Geophysical Research Abstracts. v. 14 EGU Assembly 2012, Vienna, p. 4578.

Численное моделирование эвстатических колебаний 3-го порядка, основанное на данных по палеозойским карбонатным платформам, показало, что амплитуда таких изменений не могла превышать первых десятков метров. Этот вывод справедлив для большей части палеозоя. Более значительные изменения палеоглубин (до 100 и более метров), а также палеоврезы такой же амплитуды, фиксируемые на границах секвенций, следует объяснять быстрыми вертикальными тектоническими движениями. Анализ геологических данных показывает, что механизм этих движений

должен быть связан с существованием короткопериодных восходящих течений в подлитосферной мантии. Модель разработана на детально изученных разрезах ордовика и силура (эпиконтинентальные бассейны Сибирской и Восточно-Европейской платформ), позднего карбона и перми (центральная часть Восточно-Европейской платформы, Мидконтинент Северной Америки). Она учитывает неравномерно меняющуюся скорость тектонического погружения и изостатическую реакцию коры на изменение водной нагрузки. Сделанные выводы могут найти важное применение при поисках неструктурных ловушек в нефтегазоносных бассейнах.

12. Е.В. Артюшков, П.А. Чехович. Некоторые типы вертикальных движений земной коры на континентах, связанные с поступлением в литосферу мантийных флюидов // Осадочные бассейны и геологические предпосылки прогноза новых объектов, перспективных на нефть и газ, Материалы XLIV Тектонического совещания. М., ГЕОС, 2012.с. 8–12.

На Восточно-Европейской и Сибирской платформах в отдельные эпохи погружения земной коры, становились сильно неоднородными в пространстве и во времени. Это могло быть обусловлено неравномерной инфильтрацией в нижнюю кору флюидов из мантии, катализировавшим переход габбро в более плотные гранатовые гранулиты. В сверхглубоких осадочных бассейнах на континентальной коре ее погружение не сопровождалось сильным растяжением. В таких структурах метаморфизм в гранитном слое, перекрытом мощной толщей осадков, приводил к значительному повышению в нем скоростей упругих волн. На фоне длительного погружения в осадочных бассейнах иногда проявлялись кратковременные поднятия коры, возможно, связанные с воздействием мантийных течений. Новейшие поднятия коры на кристаллических щитах и других положительных структурах рельефа могли быть обусловлены поступлением в литосферу мантийного флюида. В присутствии флюида происходило замещение астеносферой размягченной нижней части мантийной литосферы, а также разуплотнение метабазитов в земной коре в результате низкотемпературного повторного метаморфизма

13. Е.В. Артюшков. Физические механизмы образования нефтегазоносных бассейнов и ловушек для углеводородов // Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика. Электронный научный журнал. 2012, вып. 2 (6). http://oilgasjournal.ru/vol_6/artushkov.html

На основе анализа движений земной коры в девоне установлено, что крупные эвстатические флуктуации уровня Мирового океана третьего порядка (1-3 млн. лет), с которыми часто оказывается связанным образование стратиграфических ловушек для углеводородов, в эту эпоху не проявлялись. Показано, что Северо-Баренцевская и Северо-Чукотская впадины образовались на континентальной коре в результате эклогитизации ее базальтового слоя. Проявление во впадинах на нескольких этапах быстрых погружений коры без ее значительного растяжения вместе с образованием крутых флексур фундамента указывает на то, что эти структуры представляют собой нефтегазоносные бассейны с запасами в миллиарды тонн условного топлива. Показано, что котловины Подводников и Макарова, а также поднятие Менделеева подстилаются корой континентального типа, породы которой испытали глубокий метаморфизм. Судя по проявлению в них в неогене быстрого погружения коры, эти области также являются крупными нефтегазоносными бассейнами. Установлено, что крупные новейшие поднятия коры в Евразии в большинстве областей не сопровождалось значительным растяжением и были обусловлены метаморфизмом с разуплотнением пород в коровом слое, а также конвективным замещением мантийной литосферы менее плотной астеносферой.

14. Артюшков Е.В., Беляев И.В., Казанин Г.С., Павлов С.П., Чехович П.А., Шкарубо С.И. Механизмы образования глубоких впадин с аномально тонкой корой на континентальной литосфере. Геологическая история, возможные механизмы и проблемы формирования впадин с субокеанической и аномально тонкой корой в провинциях с континентальной литосферой. Материалы 45 (XLV) Тектонического совещания, М. ГЕОС, 2013, с. 9-13.

В глубоких впадинах, заполненных мощными (15-20 км) толщами осадков, консолидированная кора обычно утонена в несколько раз, и средние скорости продольных волн в ней типичны для океанической коры. Динамика погружения коры в таких впадинах кардинально отличается от погружения, характерного для океанической коры. Это указывает на континентальную природу коры во впадинах. Крупные погружения континентальной коры могут быть обусловлены ее растяжением. На высокоточных сейсмических профилях деформации, указывающие на сильное растяжение коры, однако, не выделяются. Как показывает анализ данных гравиметрии и ГСЗ, под разделом Мохо во впадинах расположены тела эклогитов мощностью 15-20 км, более плотных, чем мантийные перидотиты и имеющие примерно такие же скорости упругих волн. Образование тяжелых эклогитов из габбро в нижней коре происходило в эпохи инфильтрации в нее мантийных флюидов и сопровождалось высокоамплитудными погружениями. Инфильтрация флюидов в верхнюю кору также сопровождалась метаморфизмом, повышением плотности пород и скорости упругих волн. Глубокие впадины, в которых проявились эти процессы, представляют собой крупные нефтегазоносные бассейны.

15. E. Artyushkov. The Neotectonic crustal uplift and lithospheric softening in plate interiors caused by infiltration of mantle fluids into the lithosphere// Geophysical Research Abstracts, v. 15 of EGU General Assembly, 2013, p. 8867.

Крупномасштабные поднятия на континентах обычно объясняют процессами коллизии на границах литосферных плит. Однако во внутренних областях континентов конвергентные границы имеются лишь в некоторых регионах, например между Евразийской и Индийской плитами. Большая же часть площади континентальной литосферы расположена во внутриплитных областях. Сжатие в регионах с корой докембрийского возраста, занимающих около 70% площади континентов, завершилось не позднее 500 млн. лет назад. Однако в плиоцене и плейстоцене значительная часть этих областей испытала поднятия с амплитудами от 100-200 м до 1-2 км. Сказанное относится к большей части Африки, Гренландии, Восточной Сибири и многим другим регионам. Неотектонические поднятия широко проявлены и в областях с корой фанерозойского возраста. Во многих регионах Центральной и Северо-Восточной Азии поднятия с амплитудами до 1-2 км и более происходили намного позже главных фаз сжатия коры в мезозое и палеозое и сопровождалась лишь очень слабыми деформациями растяжения или сжатия величиной в несколько процентов. Неотектонические поднятия во внутриплитных областях требуют для своего объяснения уменьшения плотности литосферного слоя, что может быть обусловлено двумя процессами. Один из них заключается в разуплотнении метаморфитов основного состава в результате ретроградного метаморфизма (диафореза), протекающего при температурах 350-400 град. С. Этот механизм объясняет сильную пространственную неоднородность поднятий. Так, в пределах архейских областей Восточной Сибири перепад амплитуд величиной до 300-500 м происходит на участках шириной всего 20 км. Для разуплотнения пород за счет диафореза необходим приток значительных объемов флюида из мантии. Другой процесс представляет собой конвективное замещение астеносферой относительно более плотных пород, слагающих мантийную литосферу. Их вязкость понижается при этом на несколько порядков величины благодаря инфильтрации флюидов из более глубоких частей мантии. Во многих областях современных поднятий, например в Центральной Азии, на западе Северной Америки кровля астеносферы приподнята на величину до 100 км. Неотектонические поднятия в большинстве регионов происходят далеко за пределами областей крупных мантийных плюмов и характеризуются полным отсутствием или слабыми проявлениями магматической деятельности. Это означает, что возникновение поднятий и подъем плюмов представляют собой невзаимосвязанные явления. Крупные плиоцен-четвертичные поднятия являются наиболее мощным тектоническим процессом в пределах континентальных областей. Они могут быть связаны с квазисинхронными импульсами прониновения мантийных флюидов в литосферу. Присутствие флюидов в виде тонких пленок на границах минеральных зерен приводит к сильному размягчению литосферного слоя в результате специфических эффектов механизма ползучести. В ряде регионов, таких, в частности, как Северо-Восточная и Южная Азия крупные неупругие деформации литосферы имели место в плиоцене и плейстоцене. На сильное размягчение этого слоя также указывает образование крутых склонов на поверхности фундамента во многих осадочных бассейнах Евразии.

16. E. Artyushkov, I. Belyaev, P. Chekhovich, V. Poselov. Continental crust in deep-water basins of east arctic region // Geophysical Research Abstracts, v. 15 of EGU General Assembly, 2013, p. 8647.

В консолидированной коре на поднятии Менделеева, а также во впадинах Макарова и Подводников скорости продольных волн выше, чем в большинстве континентальных областей. Однако мощность этой коры (15-30 км) существенно превышает мощность коры океанического типа и кроме того она обладает здесь маломощным (2-5 км) гранитным слоем. Чтобы объяснить такое необычное строение коры предполагают, что в позднеюрское и меловое время спрединг сопровождался здесь выплавлением крупных масс корового материала подобно областям развития "горячих пятен". Другие исследователи полагают, что кора в этих регионах принадлежит к континентальному типу. Важный аргумент в пользу такого предположения предоставляют данные об истории погружений, динамика которых кардинально отличается от океанических областей, где скорость погружения пропорциональна квадратному корню из возраста коры. Данные донного драгирования на поднятии Менделеева свидетельствуют о том, что эта область располагалась вблизи уровня моря на протяжении 170 млн. лет начиная с позднего силура до ранней перми. Это невозможно увязать с моделью мезозойского "горячего пятна". Кроме того, строение консолидированной коры в этой области сходно со строением сверхглубоких бассейнов на континентах и их пассивных окраинах, например, с Восточно-Баренцевской, Северо-Каспийской и Северо-Чукотской впадинами, которые изначально заложились на континентальной коре. Чтобы обеспечить погружение на величину 1,5-4 км только за счет растяжения литосферы, ее требуется растянуть в 1,5-4 раза. Однако на большинстве сейсмических профилей таких деформаций не наблюдается. Поэтому в качестве причины погружения следует рассматривать превращение габброидов нижней коры в высокоплотные эклогиты. По скоростным характеристикам они близки к мантийным перидотитам и поэтому на профилях отраженных волн помещаются под разделом Мохо, хотя по своему среднему химическому составу должны быть отнесены к коре. Анализ данных сейсмического профилирования и поля силы тяжести показывает, что под поднятием Менделеева раздел Мохо подстилается слоем эклогитов мощностью до 10 км. Вместе с мощностью основных пород общая мощность коры здесь составляет, таким образом 40 км, что типично для континентальной коры.

17. A. Morozov, O. Petrov, A. Kremenetskiy, S. Kashubin, P. Rekant, E. Gusev, S. Shokalskiy, S. Shevchenko, S. Sergeev, E. Artyushkov. Geological and geochemical criteria for the continental nature of

the Mendeleev Rise (the Arctic Ocean) from the data of drilling and dredging of seabed rock material // Geophysical Research Abstracts, v. 15 of EGU General Assembly, 2013, p.11061.

Представлены первые результаты геолого-геофизического изучения поднятия Менделеева, проведенного экспедицией "Арктика 2012" в десяти точках опробования, расположенных между 79 и 83 градусами с.ш. Было пробурено три скважины на глубинах от 1700 до 2600 м, собрано более 20 тысяч проб донного материала. Среди собранных фрагментов до 65% представляют карбонатсодержащие породы, в том числе доломиты с остатками трилобитов и остракод позднедевонско-каменноугольного облика. До 20% материала представлено терригенными породами с преобладанием кварцевых песчаников. Магматические породы составляют 10-15% собранного материала (в том числе 8% габбро-долеритов, 2% гранитов) и 5% метаморфических пород. Бурением вскрыты магматические породы - базальты, базальтовые андезиты, трахиандезиты (содержание SiO₂ от 48 до 58%, сумма щелочей от 3,4 до 9,2%), а также эпигенетически измененные вулканические брекчии. Предварительные результаты минералого-геохимического и изотопного изучения образцов (ICP-OES, ICP-MS, RFA, Sm-Nd, Rb-Sr, EPMA и др.) подтверждают континентальную природу изученных пород и демонстрируют их явное отличие от пород из района хребта Гаккеля в евразийской части Арктического океана. U-Pb датирование цирконов из пород керн скважин и донного материала (SIMS SHRIMP II) показало широкие возрастные пределы времени их образования: 2940-995, 639-385 and 303-203 млн. лет и, следовательно, подтвердило их принадлежность к вулcano-терригенным карбонатсодержащим осадочным сериям древней платформы, слагающей дно амеразийской части Арктического океана.

18. Artyushkov E.V., Belyaev I.V., Chekhovich P.A., Kazanin G.S., Pavlov S.P., Shkarubo S.I. Formation mechanisms of ultradeep sedimentary basins: the North Barents and some other basins, 3P Arctic, The Polar Petroleum Potential Conference. Abstracts, p. 16, Norway, Stavanger 15-18 October 2013.

Начиная с позднего девона в Северо-Баренцевской впадине накопилось 14 км осадков, и это не сопровождалось сильным растяжением коры. Погружение было связано с увеличением плотности в литосферном слое, вызванным переходом габброидов нижней коры в высокоплотные эклогиты. Совместный анализ данных сейсмического профилирования и поля силы тяжести показывает, что раздел Мохо под бассейном подстилается аномально плотной массой - слоем эклогитов мощностью до 15 км. Эти породы благодаря своим скоростным характеристикам обычно помещаются ниже раздела Мохо. Такая же ситуация имеет место в Северо- и Южно-Каспийской впадинах, а также в Северо-Чукотском бассейне с глубиной погружения до 20 км. Эти впадины переуглублены на несколько километров по сравнению с фактически наблюдаемой в них мощностью консолидированной коры. Если бы поверхность Мохо подстилалась здесь мантийными перидотитами, то на поверхности должны были бы наблюдаться сильные отрицательные аномалии поля силы тяжести. Однако в действительности во всех названных бассейнах имеют место слабые положительные аномалии. Это означает, что под разделом Мохо здесь должны находиться более плотные эклогиты. Преобразование крупных масс габброидов и базальтов в эклогиты возможны только в высокожелезистых разностях пород. Поэтому формирование сверхглубоких бассейнов локализовано в пределах отдельных регионов.

19. Artyushkov E.V., Belyaev I.V., Chekhovich P.A., Kazanin G.S., Pavlov S.P., Shkarubo S.I. Formation mechanisms of ultradeep sedimentary basins: the North Barents and some other basins // Search and Discovery. — 2013. — no. Article #10558.

Консолидированная кора Северо-Баренцевского бассейна утонена в два раза по сравнению с прилегающей с юга сухопутной областью. Вместе с тем степень ее растяжения на сбросах фундамента составляет не более 10%, что может обеспечить примерно 1-2 км мощности осадочного чехла. Начиная с позднего девона здесь накопилась толща мощностью 14 км, и это не сопровождалось сильным растяжением коры. Погружение было связано со значительным увеличением плотности в литосферном слое, вызванным переходом габброидов нижней коры в высокоплотные эклогиты. Этот процесс протекал в течение последовательных эпизодов инфильтрации мантийных флюидов. Совместный анализ данных сейсмического профилирования и поля силы тяжести показывает, что раздел Мохо под бассейном подстилается не мантийными перидотитами, а слоем эклогитов мощностью до 15 км. Эти породы значительно тяжелее перидотитов, но благодаря своим скоростным характеристикам обычно помещаются ниже раздела Мохо. Похожая ситуация имеет место в Северо- и Южно-Каспийской впадинах, а также в Северо-Чукотском бассейне с глубиной погружения до 20 км. Так же как и Северо-Баренцевский бассейн эти впадины переуглублены на несколько километров по сравнению с фактически наблюдаемой в них мощностью консолидированной коры. Расчеты показывают, что если бы поверхность Мохо подстилалась здесь мантийными перидотитами, то на поверхности должны были бы наблюдаться сильные отрицательные аномалии поля силы тяжести величиной до 150-200 миллигал. Однако в действительности во всех названных бассейнах имеют место слабые положительные аномалии в редукции Фая. Это означает, что под разделом Мохо здесь должны находиться более плотные эклогиты. Аналогичные выводы были получены недавно в отношении Мексиканского залива (Mooney and Kaban, J.G.R., 2010). Преобразование крупных масс габброидов и базальтов в эклогиты возможны только в высокожелезистых разностях пород. Поэтому формирование сверхглубоких бассейнов локализовано в пределах отдельных регионов. При увеличении давления и температуры и в присутствии флюидов метаморфизм умеренных степеней может протекать и на более высоких уровнях коры. Это также приводит к увеличению скоростей распространения сейсмических волн и плотности сиалических пород до значений, характерных для океанической коры.

20. Пелымский Г.А., Чехович П.А. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы урана в России и в странах ЕвразЭС // Жизнь Земли. Вып 34. 2012. М., Изд-во МГУ, с. 79-98.

Охарактеризованы главные геолого-промышленные типы месторождений урана на территории России и стран Евразийского экономического сообщества, рассмотрено геоструктурное положение основных провинций, рудных районов и перспективных территорий, их связь блоками коры докембрийского и фанерозойского возраста. Проанализированы основные представления о генезисе крупнейших месторождений "типа несогласия" и ролловых месторождений-гигантов в плиоценовых депрессиях молодых платформ (Центральные Кызылкумы и др.), включая гипотезу о мантийной природе урана.

21. Г.А. Пелымский, В.М. Котова, П.А. Чехович, И.М. Капитонов. Торий – перспективный сырьевой ресурс атомной энергетики // Рациональное освоение недр, 2012, № 1, с.30–45.

Даны обобщенный анализ сырьевых источников тория в мире, охарактеризованы геодинамическая позиция крупнейших месторождений и состояние минерально-сырьевой базы тория в России. Рассмотрены возможности его использования в атомной энергетике применительно к реакторам разных типов. Дан краткий обзор технологий переработки торийсодержащих руд, извлечения тория из различных видов минерального сырья. Освещен опыт фабрикации новых видов топлива на основе тория. Приведены примеры мировой практики использования тория на АЭС. Сделан вывод о том, что дефицит уранового сырья, ожидаемый к концу первой половины текущего столетия, вынудит предпринять энергичные шаги к освоению ториевого цикла. Для обеспечения перспективных разработок в этом направлении необходима новая оценка потенциальных сырьевых источников тория. Значительная часть его запасов связана с месторождениями, формировавшимися в эпохи тектоно-магматической активизации в результате взаимодействия мантийных флюидов с фундаментом воздымающихся поднятий на континентальной коре.

8. Конференции, экспедиции, финансирование

Участие в научных конференциях и совещаниях по тематике проекта, которые проводились при финансовой поддержке РФФИ:	1
Участие в экспедициях по тематике проекта, проводимых при финансовой поддержке РФФИ:	0
Финансовые средства, полученные от РФФИ:	450000
Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта	рациональное природопользование
Критическая технология РФ, в которой, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта:	технологии поисков, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи
Основное направление технологической модернизации экономики России, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта :	эффективность и энергосбережение, в том числе вопросы разработки новых видов топлива

МАТЕРИАЛ, В НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ ФОРМЕ ИЛЛЮСТРИРУЮЩИЙ ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

На литосферных плитах, дрейфующих по поверхности астеносферы, в одних местах формируются высокие горные плато и хребты, а в других – глубокие впадины (осадочные бассейны). Большая часть этих геоструктур возникают вдали от границ плит и, следовательно, их образование не может быть удовлетворительно объяснено взаимодействием сталкивающихся и расходящихся плит. Это же относится и к проявлениям магматической активности – она часто проявляется во внутриплитных областях. Цель выполняемого проекта – выявить механизмы, ответственные за крупномасштабные тектонические движения на континентах, приводящие к образованию высоких горных сооружений и глубоких впадин.

I. Новейшие поднятия

В последние 5 миллионов лет геологической истории резко ускорились восходящие движения земной коры на континентах. Это привело к образованию большинства современных горных хребтов, высоких плато и других положительных форм рельефа. Современные тектонические концепции не дают удовлетворительного объяснения этому явлению. В частности, на предыдущем этапе выполнения проекта нами было показано, что на большей части площади континентов новейшие поднятия коры не сопровождалась ее сильным сжатием. Поднятия имели место вдали от границ плит (во внутриплитных областях) и вдали от областей, где литосфера взаимодействовала с крупными мантийными плюмами – гигантскими струями разогретого вещества, поднимающимися от границы внешнего ядра.

Для объяснения причины новейших поднятий многими исследователями широко используются также представления о конвективных течениях в мантии, создающих так называемую «динамическую топографию» – крупномасштабные неровности на кровле астеносферы высотой в десятки километров. Предлагается также модель деламинации (отслоения) подкоровой литосферы в связи с субдукцией, и изгибы литосферы с переменной на площади мощностью под влиянием далекодействующих горизонтальных сил. Проведенный нами в 2013 г. анализ показал, что эти механизмы не могли внести существенного вклада в новейшие поднятия.

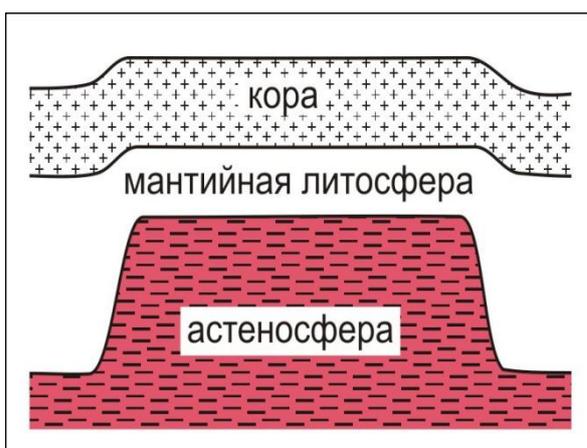


Рис.1. Замещение нижней части мантийной литосферы менее плотной астеносферой, которое приводит к образованию поднятия на поверхности Земли

Главными причинами поднятий послужили два процесса – разуплотнение пород в земной коре вследствие ретроградного метаморфизма (диафореза), а также частичное или полное конвективное замещение подкоровой литосферы менее плотной астеносферой (рис. 1). Оба процесса проявляются при поступлении в литосферу мантийного флюида. Оказалось, что во многих областях с корой докембрийского возраста обусловленные диафорезом поднятия сильно неравномерны на площади. На Кольском полуострове при этом метаморфизм сопровождался образованием в коре слоя с резко пониженной вязкостью. Анализ

распределения на площади новейших поднятий в Джунгарском Алатау показал, что их характерный горизонтальный масштаб составлял там менее 10 км. Это свидетельствует о почти полном разрушении упругого слоя в земной коре. В глобальном масштабе разуплотнение пород в

земной коре в новейшую эпоху оказалось в несколько раз более мощным процессом, чем разрушение мантийной литосферы.

II. Сверхглубокие осадочные бассейны

В сверхглубоких прогибах с мощностью осадков 18-20 км мощность консолидированной коры над разделом Мохо сокращена до 12-20 км. По своей плотности и высоким скоростям продольных волн эта кора напоминает кору океанического типа. Анализ строения коры по сейсмическим и гравиметрическим данным, а также истории развития ее погружения показал,

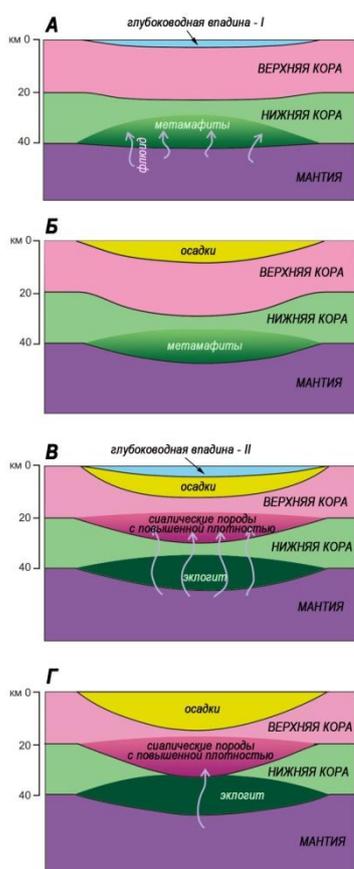


Рис. 2. Схема формирования сверхглубокого осадочного бассейна в результате метаморфизма с уплотнением пород, развивающегося при поступлении в кору мантийного флюида.

А – первое быстрое погружение коры с образованием глубоководной впадины; оно обусловлено повышением плотности в нижней части нижней коры вследствие ее гранатизации при инфильтрации мантийного флюида.

Б – образование глубокого осадочного бассейна в результате заполнения начальной впадины осадками с изостатическим погружением коры под их нагрузкой.

В – быстрое погружение с образованием новой глубоководной впадины; на данной стадии повышение давления в коре под мощным слоем осадков обеспечивает дальнейшее развитие метаморфизма в нижней коре, а также его проявление в нижней части верхней коры.

Г – Завершение формирования сверхглубокого бассейна; под нагрузкой мощного слоя осадков. Нижняя кора оказывается глубоко метаморфизованной с повышением скоростей продольных волн до значений характерных для мантии. Поэтому на сейсмических профилях раздел М помещают на подошве сиалической верхней коры. В ее основной части скорости продольных волн в результате умеренного метаморфизма повышаются до значений, характерных для базальтового слоя континентальной коры.

Здесь представлена лишь одна из возможных схем развития сверхглубокого осадочного бассейна. В зависимости от конкретного строения коры, а также количества эпизодов быстрых погружений и их интенсивности, возможны и другие, более сложные, схемы.

однако, что в сверхглубоких прогибах под осадками залегает континентальная кора, претерпевшая глубокий метаморфизм. К такому типу можно отнести консолидированную кору на подводном поднятии Менделеева и в котловине Подводников в Восточной Арктике.

В качестве причины погружения следует рассматривать превращение (метаморфизм) габброидов нижней коры в высокоплотные эклогиты – метаморфические породы, состоящие из пироксена и граната. По скоростным характеристикам эклогиты близки к мантийным перидотитам и поэтому на профилях отраженных волн помещаются под разделом Мохо, хотя по своему среднему химическому составу должны быть отнесены к коре. Преобразование крупных масс габброидов и базальтов в эклогиты возможны только в высокожелезистых разностях пород. Поэтому формирование сверхглубоких бассейнов локализовано лишь в пределах отдельных регионов. Метаморфические реакции происходили эпизодически в ходе инфильтрации в нижнюю кору мантийных флюидов (рис. 2). Этот процесс протекал в виде быстрых последовательных импульсов.