

УДК 551.24 (235.216)

Орозбаев Рустам Талапкерович,
к.г.-м.н., заведующий лабораторией
Orozbaev Rustam Talapkerovich,
kand. geol-miner. sciences,
Head of Department,
Бакиров Апас Бакирович,
д.г.-м.н, академик НАН КР,
главный научный сотрудник
Bakirov Apas Bakirovich,
academician NAS KR,
doct. geol-miner. sciences, senior researcher

Институт геологии им. М.М. Адышева НАН Кыргызской Республики
Кыргыз Республикасынын УИА М.М. Адышев атындагы геология институту
Institute of Geology n.a. M.M. Adyshev, National Academy of Sciences, Kyrgyz Republic

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОКЕАНИЧЕСКОЙ КОРЫ В КОНТИНЕНТАЛЬНУЮ В ЗОНАХ ПАЛЕОСУБДУКЦИИ ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация. Метаморфические комплексы Тянь-Шаня сложены в основном метапелитами и метабазами (эклогиты, гранатовые амфиболиты, амфиболиты), которые испытали метаморфизм в условиях высоких и сверхвысоких давлений, погружившись вдоль зоны субдукции до глубин 80–130 км.

В рассматриваемых комплексах, первичная базальтовая океанская кора (метабазиты) и частично породы континентальной коры (метапелиты) в процессе субдукции преобразовалась в породы верхней мантии и при эксгумации перешла обратно в породы с плотностью, соответствующей плотности континентальной земной коры. Соответственно, в канале субдукции в конечном результате происходило преобразование вещества океанской коры в вещество континентальной коры.

Ключевые слова: Тянь-Шань, субдукция, континентальная кора, океаническая кора, плотность горных пород.

ТЯНЬ-ШАНДАГЫ ПАЛЕОСУБДУКЦИЯ ЗОНАЛАРЫНДА ОКЕАНДЫК ЖЕР КЫРТЫШЫНЫН КОНТИНЕНТТИК КЫРТЫШКА АЙЛАНЬШЫ

Аннотация. Тянь-Шандын метаморфикалык комплекстери метапелиттерден жана метабазиттерден (эклогиттер, гранат амфиболиттери, амфиболиттер) түзүлүп, алар субдукция зонасында 80–130 км тереңдикке чөгүп, жогорку жана өтө жогорку басымдын шарттарында метаморфизмге дуушар болгон.

Каралып жаткан комплекстерде баштапкы базальттык океандык кыртыш (метабазиттер) жана кээ бир континенттик кыртыш тоо-тектери (метапелиттер) субдукция учурунда жогорку мантиянын тоо тектерине айланган жана эксгумация учурунда континенттик кыртыштын тыгыздыгына туура келген тектерге кайра өткөн. Демек, субдукция каналында океандык кыртыш континенттик кыртыштына айланган.

Негизги сөздөр: Тянь-Шань, субдукция, континенттик жер кыртыш, океандык жер кыртыш, тоо-тектердин тыгыздыгы.

TRANSFORMATION OF OCEANIC CRUST INTO CONTINENTAL CRUST IN THE PALEOSUBDUCTION ZONES OF THE TIEN SHAN

Abstract. The metamorphic complexes of the Tien Shan are composed mainly of metapelites and metabasites (eclogites, garnet amphibolites, amphibolites), which experienced metamorphism under high and ultrahigh pressures conditions, downgoing along the subduction zone to depths of 80–130 km.

In these complexes, the primary basaltic oceanic crust (metabasites) and partly continental crust rocks (metapelites) were transformed into upper mantle rocks during subduction and, during exhumation, turned back into rocks with a density corresponding to the density of the continental crust. As a result, in the subduction channel the material of the oceanic crust was transformed into the continental crust.

Key words: Tien-Shan, subduction, continental crust, oceanic crust, density of rocks.

Введение. В тектонических субдукционных и коллизионных процессах океанская кора полностью и часть континентальной коры затягиваются вниз и по каналу субдукции опускаются вглубь Земли на различные глубины, испытывают метаморфизм [1, 2]. Большая часть этих образований дальше опускаются вглубь мантии Земли. В начале 80-х последовательные открытия коэсита, полиморфной формы кварца сверхвысокого давления, в западных Альпах [3] и каледонском орогеническом поясе Норвегии [4] привели к выводу, что континентальная кора может быть погребена на глубину более 110 км. Современные данные свидетельствуют о том, что они могут погрузиться до основания мантии, о чём свидетельствуют находки метаморфического алмаза в кембрийском орогене Кокчетавского массива в Казахстане [5], что предполагает давления около 40 кбар, т.е. залегание на глубине более 130 км. Небольшая часть погруженных материалов затем подвергаются эксгумации и выводиться на поверхность Земли в ходе орогенных процессов [6]. При этих «путешествиях» первично океанские и континентальные породы смешиваются, образуя единый геологический комплекс. В конечном результате они могут приращивать континентальную кору.

В данной работе изучен этот вопрос на конкретных геологических объектах, актюзском комплексе в Заилийском хребте, макбальском комплексе в Кыргызском хребте и чолкторском комплексе в Атбашинском хребте (рис. 1), которые испытали метаморфизм высоких и сверхвысоких давлений (НР-УНР). Первые два расположены в Северном Тянь-Шане, а третий – в Южном (рис. 1).

Метаморфические НР-УНР комплексы как правило сложены разнородными по составу, генезису и возрасту горных пород, которые испытали метаморфизм и деформацию. Эти комплексы являются весьма информативными геологическими образованиями. Они позволяют исследовать природу зон субдукций, особенно глубинных их частей, где происходит перемешивание вещества континентального и океанского типов земной коры, преобразование их в вещество мантии, формирование и рост континентальной коры за счет пород океанской коры и верхней мантии. Они дают дополнительные сведения о палеоокеанах и палеоконтинентах, с которыми они связаны. Иногда оказываются единственными источниками информации о них в то время, когда отсутствуют следы древних аналогов этих структур.

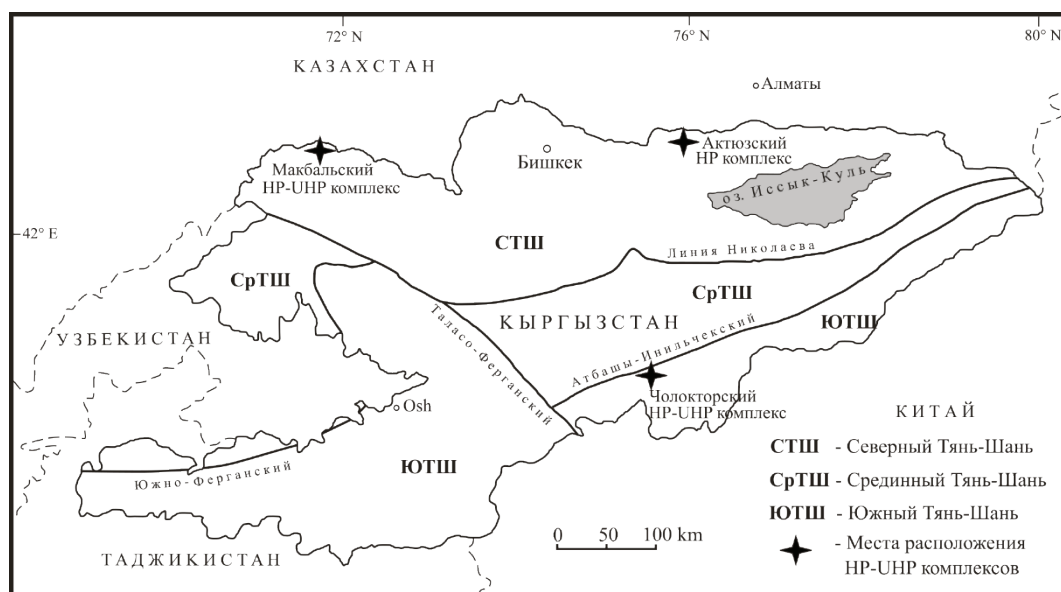


Рисунок 1. Схематическое тектоническое деление Тянь-Шаня с указанием расположения метаморфических комплексов. НР-УНР – высоких и сверхвысоких давлений.

В данной работе определены плотностные характеристики пород, входящих в состав вышеназванных комплексов Тянь-Шаня, с целью выяснения изменений плотности пород при различных типах метаморфизма. Обобщая полученные данные, прослежен путь перемещения пород по каналу **субдукции**, в результате выяснен сложный характер преобразования пород океанической коры в породы континентальной коры.

Изученность метаморфических пород. Детально исследованы петрография и химический состав минералов, выяснены протолиты и физико-химические условия формирования пород, и характер их метаморфизма во всех НР-УНР комплексов [7]. Прослежен путь перемещения этих образований в субдукционном канале.

Актюзский метаморфический комплекс состоит, в основном, из чередующихся серых пелитовых и красно-розоватых гнейсов (метапелиты). Метабазиты представлены в основном эклогитами, гранатовыми амфиболитами, и амфиболитами, которые встречаются в виде будин и линз среди вмещающих гнейсов [7]. Эклогиты актюзского комплекса, представляющим собой первоначально базальтами океанической коры, образовались в условиях

эклогитовой фации ($T = 550\text{--}660^\circ\text{C}$; $P = 21\text{--}23$ кбар) на глубине около 70–80 км [8, 9], а затем эксгумировались на поверхность около 500–600 (?) млн. лет назад. В актюзском комплексе вдоль разломов выходят тела серпентинитов, включающие в себе блоки амфиболитов, метагаббро и пелитовых гнейсов.

Макбальский метаморфический террейн сложен двумя комплексами: макбальским и нельдинским, которые в основном образованы кварцитами, мраморами и метапелитами, представляющие собой первично осадочные образования континентальной коры, и будинами хлоритовых сланцев, амфиболитов, гранатовых амфиболитов и эклогитов – первично магматические образования, габбро-базальты океанской коры [7]. В макбальском комплексе был обнаружен коэсит в тальк-хлоритоидных сланцах и кварцитах, также псевдоморфоза кварца по коэситу – в эклогитах, что подразумевает метаморфизм сверхвысоких давлений ($P > 28$ кбар; $T < 600^\circ\text{C}$) до глубины более 110 км [10, 11].

Чолокторский метаморфический комплекс представлен метаморфическими породами, такими как пелитовые сланцы и глаукофановые сланцы, в которых эклогиты распространены как будины разных раз-

меров [7]. В эклогитах также были документированы псевдоморфозы кварца по коэситу, лавсонит и фенгит с высоким содержанием Si [9]. Эти данные указывают, что эклогиты испытали метаморфизм в условиях сверхвысоких давлений ($T = 725^\circ\text{C}$ и $P = 35$ кбар) [7, 9, 10].

Во всех этих комплексах геохимические данные показывают, что протолитами эклогитов и амфиболитов (метабазиты) являются базальты океанических островов и/или срединно океанических хребтов (океанического происхождения), а метапелиты (гнейсы, сланцы, кварциты, мрамора) изначально были осадочными породами континентального происхождения [7, 9, 12, 13].

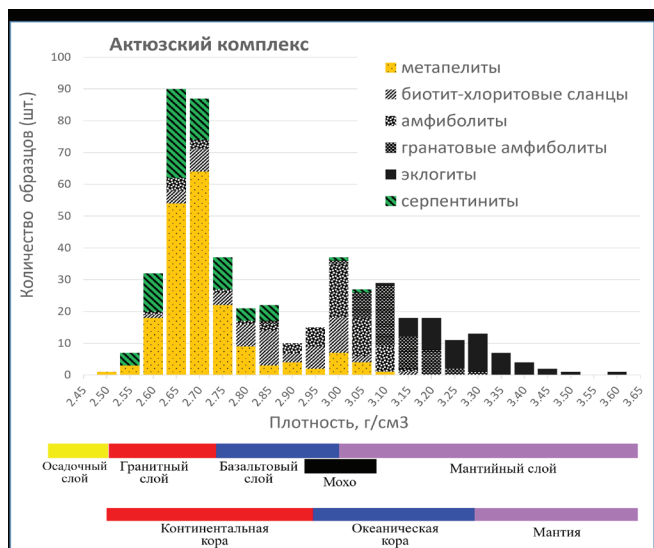
Плотностные характеристики пород. Для изучения плотностных свойств горных пород в исследуемых комплексах было отобрано и изучено 1661 образца из различных пород в 1980–1983 гг [14]. Измерение плотностных свойств производилось в лаборатории физических свойств горных пород Геофизической экспедиции Управления геологии Кирг. ССР. Нами были изучены и систематизированы значения плотностей горных пород, составлены гистограммы плотности для каждого метаморфического комплекса, которые отражены в рисунках 2, 3 и 4. Внизу гистограмм приведены ряд средних плотностей, свойственных отдельным слоям земной коры и верхней мантии.

1) В *актюзском метаморфическом комплексе* выделены следующие типы по-

род: метапелиты (гнейсы, сланцы и гнейсограниты), метабазиты (биотит-хлоритовые сланцы, амфиболиты, гранатовые амфиболиты, эклогиты) и серпентиниты.

В сланцах и рассланцованных гнейсах значения колеблются в пределах от 2,51 г/см³ до 2,80 г/см³ (рис. 2). Наиболее часто встречается значения от 2,60 г/см³ до 2,70 г/см³. Плотность в гнейсах, не подвергшихся интенсивному диафторезу, колеблется в пределах 2,80 г/см³ до 3,11 г/см³. Осадочные образования, которые слагали часть этих пород, первоначально обладали плотностью 2,0–2,5 г/см³. Опустившись на некоторую глубину и уплотнившись, они вместе с гранитными массивами слагали верхний гранито-гнейсовый слой земной коры плотностью 2,5–2,7 г/см³ (рис. 2). В процессе погружения в канале субдукции они испытали дальнейшее уплотнение, в них появился гранат и становились тяжелее, и достигали плотности гранулитобазитового слоя нижней части земной коры 2,7–3,0 г/см³ и частично даже верхней части верхней мантии, приобретая плотность 3,0–3,11 г/см³ (по-видимому, зоны границы Мохо). При возвращении их снова на земную поверхность, эксгумации, эти породы испытывали ретроградные изменения, рассланцовывались, гранат перешел в хлорит, и снова приобрели плотность гранито-гнейсового слоя коры. Однако, некоторые их разности сохранили плотность нижней коры, что мы наблюдаем на представленной гистограмме плотности пород (рис. 2).

Рисунок 2. Гистограмма плотностных характеристик пород Актюзского комплекса.



Амфиболиты, гранатовые амфиболиты и эклогиты имеют широкий интервал рассеивания значений плотности от 2,68 г/см³ до 3,46 г/см³ (рис. 2). Наблюдается строгая закономерность в изменении состава и плотности metabазитов. В наименее измененных эклогитах значения плотности достигает 3,46 г/см³. В амфиболитизированных эклогитах значения плотности рассеивается в интервале от 3,20 г/см³ до 3,40 г/см³, в гранатовых амфиболитах от 3,00 г/см³ до 3,10 г/см³ и наконец, в сильно измененных амфиболитах и биотит-хлоритовых сланцах плотность достигает довольно низких значений 2,60 г/см³ (рис. 2). Метабазиты представляют собой продукты преобразования пород океанской коры, габбро-базальтов, которые первоначально обладали средней плотностью 2,8 (2,7–3,0) г/см³. При погружении по каналу субдукции базальтовая кора океана в большей своей части перешла в эклогиты, сливаясь в одно целое породами верхней мантии. Плотность этих пород, как показано на гистограмме, достигали от 3,10 до 3,60 г/см³ (рис. 2). Эксгумация эклогитов на поверхность сопровождалась процессами гидратации и преобразованием эклогиты в гранатовые амфиболиты с плотностью 3,30–2,85 г/см³, что соответствует плотности пород верхней мантии и низов коры (рис. 2). Более силь-

но «обводнённые» разности перешли в амфиболиты и биотит-хлоритовые сланцы с плотностью (3,15–2,60 г/см³) как нижней, так и верхней коры.

Наименьшей плотностью среди пород актюзского комплекса обладает серпентиниты (рис. 2). Значения их плотности колеблются в пределах от 2,55 г/см³ до 3,05 г/см³. Серпентиниты – это обводнённые гипербазиты, обычно образуются в результате их диафореза. Гипербазиты представляют собой типичные породы верхней мантии с плотностью 3,3 г/см³ и выше. В настоящее время серпентиниты обладают плотностью 2,55–3,05 г/см³, т. е. по плотности полностью соответствуют породам континентальной земной коры.

2) Для изучения плотностных характеристик в макбальском комплексе выделены семь типов пород, которые сгруппированы по характеристике протолитов в метапелиты (кварциты, мраморы, сланцы) и metabазиты (эклогиты, гранатовые амфиболиты, амфиболиты и хлоритовые сланцы). В метапелитах установлена закономерность, что чем выше степень рассланцевания пород, тем ниже их плотность. При большом рассеивании значений плотности (от 2,50 г/см³ до 3,10 г/см³) (рис. 3) наибольшее их показание приходится на интервал от 2,60 г/см³ до 2,80 г/см³.

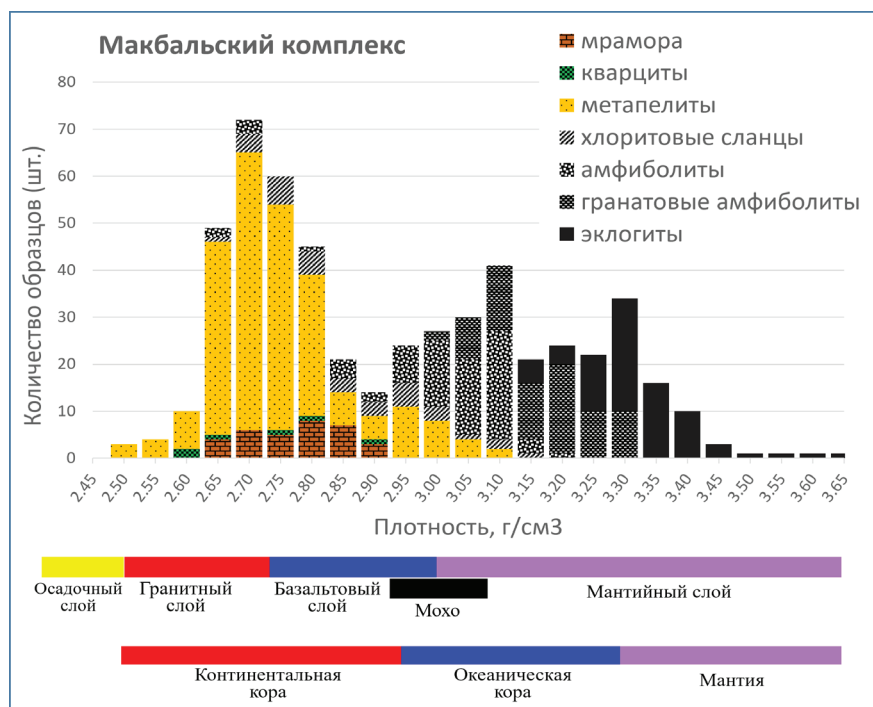


Рисунок 3. Гистограмма плотностных характеристик пород макбальского комплекса.

Мрамора, сланцы и кварциты первоначально слагали осадочный слой и обладали плотностью 2,0–2,50 г/см³. По мере опускания вглубь земной коры они вначале участвовали в образовании верхнего гранито-гнейсового слоя континентальной земной коры с плотностью 2,5–2,7 г/см³. По-видимому, в процессе субдукции они приобрели плотности, свойственные нижнему гранулитобазитовому слою континентальной коры 2,7–3,1 г/см³. Однако, наличие реликтов коэсита во включениях граната в кварцитах позволяют допускать, что все они были преобразованы в коэсититы и, согласно вычисленным *P-T* условиям, были опущены до глубин более 120 км от поверхности. Плотность коэсита 2,95–3,00 г/см³, однако на те глубины породы были затащены нисходящим конвективным потоком мантии. При достижении небольшого подъёма температуры коэсит резко мог перейти в кварц, что обусловило быстрый подъём. И снова эти породы, как видно на гистограмме (рис. 3) приобрели плотностные характеристики различных слоёв континентальной земной коры.

Наибольшей плотностью среди metabазитов обладают хорошо сохранившиеся эклогиты, не испытавшие наложения многоэтапной деформации и метаморфизма. Значения их плотности колеблются в пределах от 3,40 г/см³ до 3,56 г/см³. Менее плотными являются амфиболизированные эклогиты их значения ложатся в интервале от 3,20 г/см³ до 3,40 г/см³. В гранатовых амфиболитах плотность изменяется от 3,20 г/см³ до 2,90 г/см³. В metabазитах, содержащих хлорит и испытавшие рассланцевание, плотность падает до значений 2,62 г/см³ (рис.3).

Хлоритовые сланцы, амфиболиты, гранатовые амфиболиты и эклогиты, объединённые в группу пород под названием metabазиты, представляли собой различные продукты пород единого базальтового слоя океанской коры, плотностные характеристики которых первоначально соответствовали цифрам 2,7–3,0 г/см³. В процессе субдукции базальтовый слой океанской коры погружался на различные глубины верхней, которая отражается вариацией плотностей эклогитов от 3,15 до 3,65 г/см³. Гранатовые амфиболиты во многих случаях являются

продуктами диафтореза эклогитов. Плотность этих пород варьирует в пределах 3,0–3,3 г/см³, что соответствует плотности нижней части базальтового слоя океанской коры. Амфиболиты представляют собой продукты диафтореза эклогитов и гранатовых амфиболитов. Плотностные характеристики амфиболитов варьируют в широких пределах от 2,65 до 3,20 г/см³. В основном они соответствуют плотности гранулитобазитового слоя континентальной коры. Хлоритовые сланцы крайний член диафторитов по амфиболитам, вообще metabазитам. Их плотности (2,65–3,15 г/см³) почти соответствуют плотностям амфиболитов. В настоящее время все разновидности metabазитов находятся в виде линзовидных тел различных размеров внутри первично осадочных образований: и метапелитов, и кварцитов, и мраморов в отдельности. Несмотря на то, что в некоторых случаях они сохраняют плотность пород верхней мантии и гранулитобазитового слоя низов земной коры, они находятся в составе верхнего гранито-гнейсового слоя континентальной коры.

3) В чолокторском комплексе исследованы метапелиты и metabазиты (эклогиты и апоэклогиты). Рассеивание плотности в этих двух группах пород имеет определённую зависимость от процессов деформации и метаморфизма. Наибольшее значение плотности среди метапелитов зафиксировано в кварц-гранат-мусковитовых сланцах, в которых плотность достигает значения 3,10 г/см³ (рис. 4). В интервале от 2,64 г/см³ до 2,78 г/см³ находятся значения плотности кварц-мусковит-хлоритовых сланцев. Метапелиты по определению их протолитов представляют собой первично осадочные терригенные породы грауваккового состава. В то время, когда они слагали осадочный покров верхней части континентальной земной коры, по-видимому, обладали плотностью 2,00–2,55 г/см³. В настоящее время плотности этих пород варьируют в пределах 2,69–3,10 г/см³ (рис. 4), т. е. соответствуют плотностям пород нижнего гранулитобазитового слоя континентальной земной коры и даже зоны перехода кора–мантия. Они представляют собой результат погружения пород в канале субдукции и последующего подъёма, эксгумации на поверхность Земли.

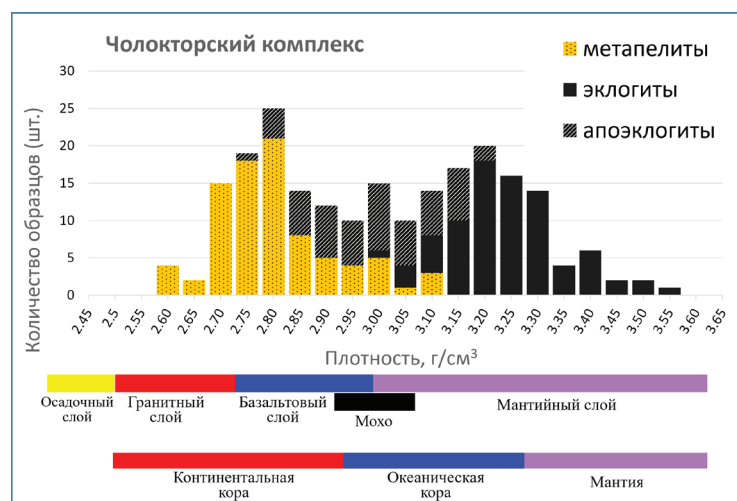


Рисунок 4. Гистограмма плотностей пород Чолокторского комплекса.

Значения плотности эклогитов и апоэклогитов распределены в широком интервале. Наименьшее значение 2,65 г/см³, а наибольшее 3,49 г/см³ (рис. 4). Высокой плотностью от 3,00 до 3,55 г/см³, соответствующей плотностям пород зоны Мохо и верхней мантии, обладают хорошо сохранившиеся эклогиты. В эклогитах установлены псевдоморфозы кварца по коэситу и по *P-T* условиям метаморфизма опускались на глубины более 120 км от поверхности земли. Наиболее высокие плотности эклогитов, возможно, соответствуют плотности пород этих глубин. Апоэклогиты объединяет различные амфиболиты с гранатом и без, глаукофановые амфиболиты, актинолитовые амфиболиты и эпидот-хлоритовые сланы. Все они образуют различной степени диафтореза по эклогитам. Плотности их колеблются в пределах 2,75–3,20 г/см³, что соответствует плотностям пород нижнего гранулит-базитового слоя континентальной коры, зоны перехода кора – мантия (рис. 4). Уменьшение плотности от эклогитов к апоэклогитам свидетельствует о постепенном разуплотнении вещества верхней мантии при переходе в более высокие горизонты земной коры, сопровождаемым метаморфизмом и деформацией.

Выводы. Комплексы сложены в основном метапелитами и линзовидными телами metabазитов (эклогиты, гранатовые амфиболиты, амфиболиты). Изучение геохимии по-

род показало, что протолитами метапелитов были осадочные породы континентальной коры, а протолитами эклогитов – базальты дна океана: срединно океанского хребта, островных дуг и островов океанского дна.

Океанская кора и часть вещества континентальной коры погрузились по каналу субдукции на глубину около от 80 до 130 км, и приобрели плотность пород соответствующей глубины верхней мантии. Но небольшая их часть, были подвергнуты размягчению, разуплотнению и подъёму вверх. При дальнейшем перемещении по каналу субдукции на более верхние уровни литосферы породы океанской коры (эклогиты) всё больше стали перемешиваться с породами континентальной коры (метапелитами). в результате два разные типа вещества океанского и континентального типов коры сближались друг с другом по плотностным характеристикам.

Таким образом, во всех рассматриваемых комплексах, первичная базальтовая океанская кора в процессе субдукции преобразовалась в породы верхней мантии и при эксгумации перешла в породы с плотностью, соответствующей плотности континентальной земной коры, как нижней, так и верхней её частей. Соответственно, в канале субдукции в конечном результате происходило преобразование вещества океанской коры в вещество континентальной коры.

Литература

1. *Ernst W. G.* Subduction, ultrahigh-pressure metamorphism, and regurgitation of buoyant crustal slices - implications for arcs and continental growth // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. – 2001. – Т. 127. – С. 253–275.
2. *Doin M. P., Henry P.* Subduction initiation and continental crust recycling: the roles of rheology and eclogitization // *Tectonophysics*. – 2001. – Т. 342. – С. 163–191.
3. *Chopin C.* Coesite and pure pyrope in high-grade blueschists of the Western Alps: a first record and some consequences // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 1984. – Т. 86. – С. 107–118.
4. *Smith D. C.* Coesite in clinopyroxene in the Caledonides and its implications for geodynamics // – 1984. – Т. 310. – С. 641–644.
5. *Sobolev N. V., Shatsky V. S.* Diamond inclusions in garnets from metamorphic rocks: a new environment for diamond formation // – 1990. – Т. 343. – С. 742–746.
6. *Gerya T. V., Stöckhert B., Perchuk A. L.* Exhumation of high-pressure metamorphic rocks in a subduction channel: A numerical simulation // *Tectonics*. – 2002. – Т. 21, № 6.
7. (U)HP террейны Тянь-Шаня. / Бакиров А. Б., Тагири М., Такасу А., Сакиев К. С., Р.Т. О., Бакиров А. А., Тогонбаева А. А., Сатыбаев М. М., Баслакунов Ж. У. – Бишкек: Илим, 2017.
8. *Orozbaev R. T., Takasu A., Bakirov A. B., Tagiri M., Sakiev K. S.* Metamorphic history of eclogites and country rock gneisses in the Aktyuz area, Northern Tien-Shan, Kyrgyzstan: a record from initiation of subduction through to oceanic closure by continent-continent collision // *Journal of metamorphic Geology*. – 2010. – Т. 28, № 3. – С. 317–339.
9. *Бакиров А. Б., Тагири М., Сакиев К. С.* Породы метаморфических фаций сверхвысоких давлений в Тянь-Шане // *Геология и геофизика*. – 1998. – Т. 12. – С. 1722–1732.
10. *Tagiri M., Takiguchi S., Ishida C., Noguchi T., Kimura M., Bakirov A. B., Sakiev K., Takahashi M., Takasu A., Bakirov A. A., Togonbaeva A., Suzuki A.* Intrusion of UHP metamorphic rocks into the upper crust of Kyrgyzian Tien-Shan: P-T path and metamorphic age of the Makbal Complex // *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*. – 2010. – Т. 105. – С. 233–250.
11. *Orozbaev R., Hirajima T., Bakirov A., Takasu A., Maki K., Yoshida K., Sakiev K., Bakirov A., Hirata T., Tagiri M., Togonbaeva A.* Trace element characteristics of clinozoisite pseudomorphs after lawsonite in talc-garnet-chloritoid schists from the Makbal UHP Complex, northern Kyrgyz Tian-Shan // *Lithos*. – 2015. – Т. 226. – С. 98–115.
12. *Бакиров А. Б.* Особенности строения и условия формирования эклогитоносных метаморфических формаций Тянь-Шаня // *Кристаллическая кора в пространстве и времени. Метаморфические и гидротермальные процессы*. – Москва: Наука, 1989. – С. 193–203.
13. *Hegner E., Klemd R., Kroner A., Corsini M., Alexeiev D. V., Iaccheri L. M., Zack T., Dulski P., Xia X., Windley B. F.* Mineral ages and P-T conditions of Late Paleozoic high-pressure eclogite and provenance of melange sediments from Atbashi in the south Tianshan orogen of Kyrgyzstan // *American Journal of Science*. – 2010. – Т. 310, № 9. – С. 916–950.
14. Отчет по хозяйственной работе на тему «Глубинные породы Киргизии» (за 1980–1983 гг.) / Институт геологии АН Кирг. ССР. – 1983. – 490 с.