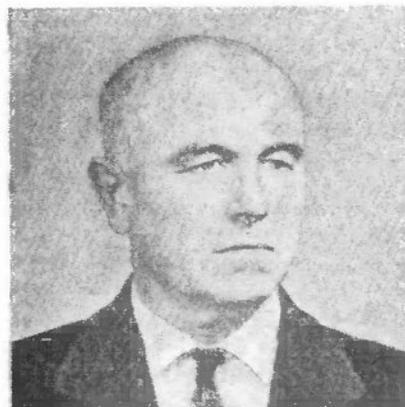


Офиолиты и земная кора

Академик А. В. Пейве



Александр Вольдемарович Пейве, директор Геологического института АН СССР, автор теоретических работ в области изучения структур земной коры, ее движений и эволюции, развивает научное направление о крупных горизонтальных перемещениях блоков и пластин земной коры и верхней мантии, а также о глубинных разломах. Опубликовал фундаментальные исследования о распространении в геологическом прошлом коры океанского типа на современных континентах. Лауреат Государственных премий СССР 1949 и 1969 гг.

Развитие современной теоретической геологии идет в двух направлениях: по пути изучения глубинного строения Земли и раскрытия глобальных геологических закономерностей. Много нового для решения этих важнейших проблем дает изучение офиолитов. Это — обширный класс плотных, более тяжелых, чем гранит, почти черных или темно-зеленых, богатых железом и магнием горных пород, представленных гипербазитами или, как их теперь называют, ультрамафитами (дуниты, гарцбургиты, перидотиты и др.) и базитами или мафитами (габбро, диабазы, базальты и др.). С базальтами пространственно тесно связаны кремнистые образования — глубоководные осадки морей и океанов геологического прошлого, которые обычно также причисляются к офиолитовой ассоциации горных пород. К офиолитам приурочены многие важные полезные ископаемые.

Отдельные члены офиолитовой ассоциации могут залегать в земной коре порознь, но они приобретают особый интерес, когда встречаются вместе и образуют протяженные офиолитовые пояса в различных по времени образования складчатых горных цепях Земли. Такие офиолитовые пояса на континентах и океанических островах уже давно выявлены и нанесены на геологические карты. На территории СССР широким распространением пользуются пояса офиолитов на Урале, в Южной Сибири, в Средней Азии, на Кавказе и в других местах. Многие в офиолитовой проблеме уже изучено, и, казалось, ничто не предвещало той вспышки громадного научного интереса к ним, кото-

рый проявился во всем мире в последнее время. По заключению Международного симпозиума по геологии офиолитов, проведенного в Москве в 1973 г., проблема офиолитов заняла ведущее положение в геологии. Это, в частности, объясняется тем, что изучение офиолитовой ассоциации горных пород открывает большие возможности для познания глубинного строения земной коры и верхней мантии. Если до сих пор изучение глубинных горизонтов земной коры, ее базальтового слоя и верхней мантии было делом геофизики, то теперь мы уже приступили к изучению этих образований обычными геологическими методами. Геологическая структура и геологическая история глубинных зон континентов и океанов, происхождение и эволюция континентальной и океанической коры станут, благодаря этому изучению, на свойственный наукам о Земле историко-геологический фундамент. Изучение офиолитов может дать ответ на стержневой вопрос теоретической геологии, стремящейся выяснить, первичны ли на нашей планете континенты и океаны или же происходит постепенное формирование коры материков.

Громадный толчок в исследовании офиолитов был вызван также тем, что в последние годы они стали изучаться и в океанах, и вскоре стало ясно, что ключом к решению проблемы глобальной тектоники плит, разработанной на материале океанов, привлекаясь большое внимание ученых, также являются офиолиты. Разумеется, все это сулит нам кардинальные сдвиги в науке и будет иметь большое практическое значение.



Рис. 1. Типичный ландшафт Полярного Урала там, где распространены мощные серии ультрабазитов, слагающие верхнюю мантию.

Три комплекса

Одно из самых важных научных достижений геологии в последние 4—5 лет — установление последовательности в залегании горных пород офиолитовой ассоциации, образующих протяженные слои или свиты слоев в разновозрастных складчатых сооружениях Земли. Как известно, офиолитовая ассоциация была выделена немецким геологом Г. Штейнманном давно, еще в 1905 г., но такого геологического смысла, как ныне, она, конечно, не имела.

В качестве «стратотипических» разрезов можно рассмотреть достаточно полные разрезы офиолитов Урала, особенно его полярной части (рис. 1, 2). Здесь выделяется ряд хорошо прослеживающихся горизонтов, объединенных в три комплекса:

I. Первый комплекс лежит в основании разреза; он всюду отделяется снизу поверхностью срыва, или, иначе, тектонической поверхностью. Слагается он толщей гипербазитов преимущественно гарцбургитов и дунитов. Толщина этой гипербазитовой тектонической пластины иногда 8—10 км. Разрез гипербазитов заканчивается вверху горизонтом мощностью до 1 км линзовидно переслаивающихся дунитов, клинопироксенитов, верлитов, троктолитов, форелленштейнов (разновидности ультрамафитов и мафитов). По мнению некоторых уральских геологов и петрологов, породы

этого горизонта образовались в результате процессов высокотемпературного метасоматизма¹, сопровождавшегося привнесом кальция и алюминия. Рассматриваемый горизонт отвечает геофизическому разделу Мохоровичича нижнепалеозойского времени, отделявшему земную кору от верхней мантии, а геологически он представляет собой зону интенсивного тектонического течения горных масс (будинаж, складки течения, рассланцевание), презратившихся в кристаллический агрегат в процессе близкой по времени габброизации.

II. Второй комплекс, отвечающий древнему базальтовому слою земной коры, представлен серией сильно смятых габброидов и пород, обогащенных сложными силикатами групп

¹ Изменение пород под воздействием проникающих в них различных растворов.

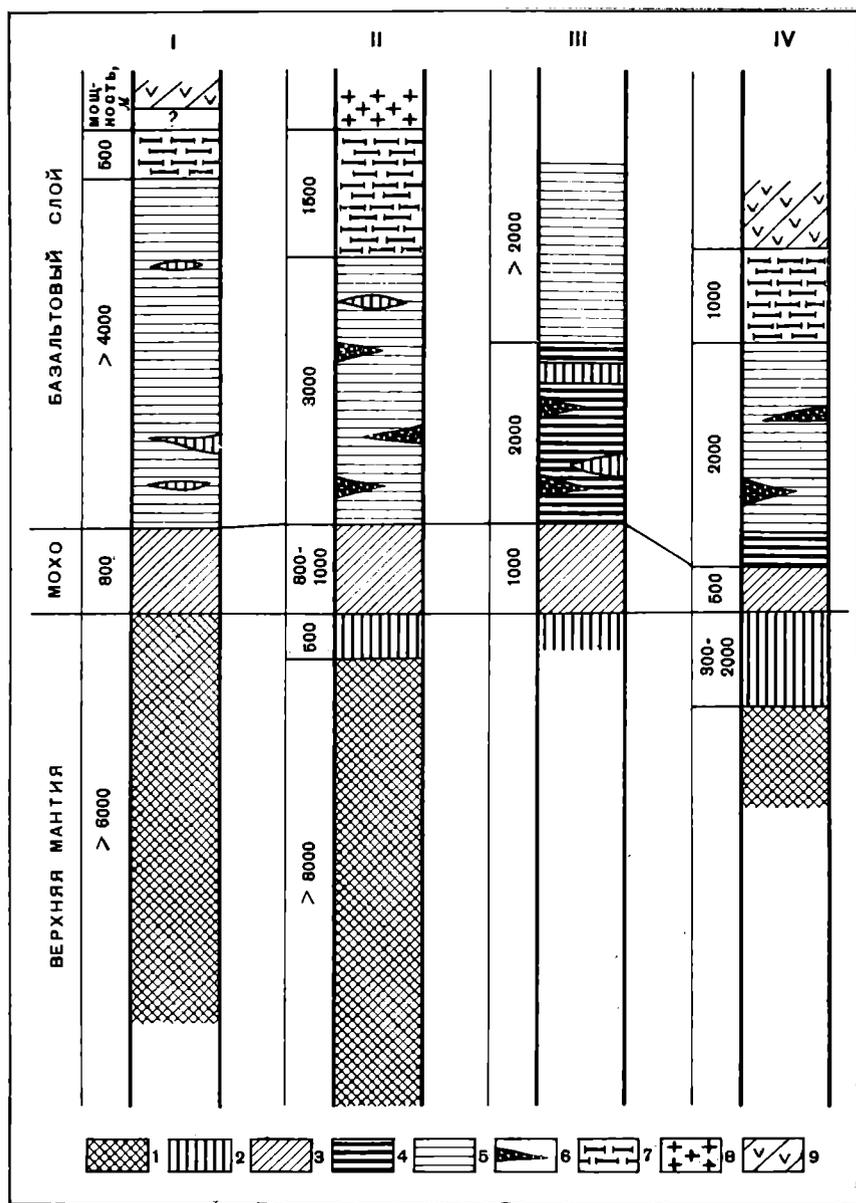


Рис. 2. Разрезы офиолитового комплекса Урала четырех опорных пунктов: Сыужкеу (I), Войкар (II), Кытлым (III) и Хабарный (IV). Хорошо видны прослеживающиеся в разных местах горизонты, объединенные в три комплекса (объяснение в тексте). 1 — гарцбургит, 2 — дунит, 3 — полосчатый комплекс, 4 — троктолит, 5 — габбро, 6 — пироксенит, 7 — амфиболит, 8 — плагиогранит, 9 — базальт.

пы амфиболов — габброамфиболитов и амфиболитов мощностью 5—7 км.

Выше располагается не везде развитый горизонт тоналитов (семейство гранитоидов) и плагиогранитов, в значительной части образовавшихся, по видимому, метасоматическим путем по габброамфиболитам, реликты которых наблюдаются среди названных гранитоидов.

III. Третий комплекс, отвечающий эффузивно-осадочному чехлу, образовавшемуся на дне моря, представлен толщей изменчивой мощности

зеленокаменно измененных толеитовых (с пониженным содержанием кремнезема) базальтов и кремнистых осадков.

Описанные горизонты, свиты и комплексы на Полярном Урале хорошо выделяются (рис. 3) и непрерывно прослеживаются по простиранию более чем на 200 км. В целом они образуют настоящую слоистую серию, сложенную породами верхней мантии и лежащего выше базальтового слоя.

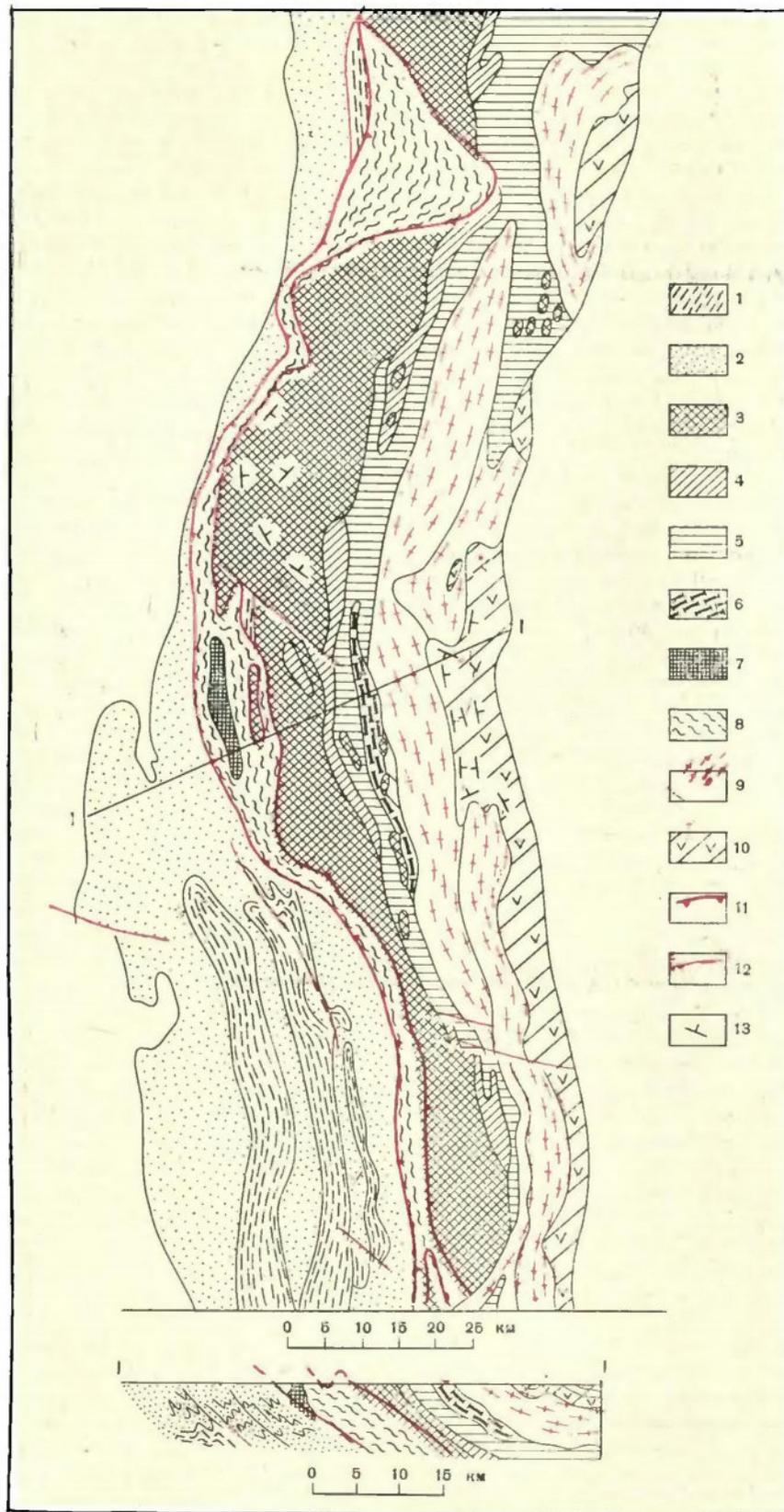
С теми или иными незначительными отклонениями стратиграфический разрез офиолитовой ассоциации Урала можно наблюдать в каждом большом офиолитовом поясе Земли, будь то Аппалачи, Средиземноморье или Тихий океан.

Мне хотелось бы только подчеркнуть здесь, основываясь на своем собственном опыте изучения офиолитовых поясов мира, что стратиграфическая последовательность пород устанавливается нелегко, потому что всюду офиолиты залегают в чрезвычайно сложных тектонических взаимоотношениях с окружающими породами и испытали многократные фазы деформаций и метаморфизма.

Так, например, на Южном Урале ультрамафиты и габбро образуют ядро гигантской лежащей складки, верхнее крыло которой почти полностью размыто, а в пределах нижнего наблюдается перевернутый «вверх ногами» разрез гипербазит-габбровой ассоциации (рис. 4, 5). Установлено, что в ряде случаев третий комплекс налегает на ультрамафиты или габброиды с перерывом и несогласием. Во многих случаях (Урал, Аппалачи), где контакты — тектонические, продукты размыва офиолитового фундамента (комплексы I, II) обнаруживаются в самом основании эффузивно-осадочных серий (комплекса III) морских вулканических прогибов, называемых звгеосинклиналями. В таких случаях комплекс III гораздо слабее метаморфизован и деформирован, чем комплексы I и II, и генетически не связан с нижележащей частью разреза офиолитовой ассоциации, будучи оторван от нее во времени.

Комплексы I и II в звгеосинклиналях лежат в самом низу стратиграфического разреза коры и являются ме-

Рис. 3. Схематическая геологическая карта (вверху) и поперечный разрез I-II (внизу) офиолитового пояса полярной части Урала. Показанные горизонты, свиты и комплексы на Полярном Урале прослеживаются по простиранию более чем на 200 км и образуют, в целом, настоящую слоистую серию, сложенную породами верхней мантии и лежащую выше базальтового слоя. 1 — докембрийские сланцы, 2 — миогеосинклинальные отложения палеозоя, 3 — дуниты и гарцбургиты, 4 — полосчатый комплекс, 5 — габброиды, 6 — амфиболиты, 7 — габбро-нориты, 8 — гранатовые амфиболиты и зеленые сланцы нижнего палеозоя, 9 — плагиоклазовые граниты, 10 — вулканические породы девона и силура, 11 — поверхность шарьяжей, 12 — разломы, 13 — элементы залегания.



таморфическим фундаментом для комплекса III. Фундамент образовался не одноактно, а имеет длительную, сложную геологическую историю, породы его испытали многократные метаморфические преобразования и тектонические деформации; в составе второго (габброидного) комплекса фундамента всюду имеются метаморфизованные реликты базальтов каких-то более ранних циклов его развития. Возраст пород фундамента в большинстве случаев не известен, но иногда, как, например, в Средиземноморье, они значительно древнее вулканогенно-осадочного чехла, представленного третьим комплексом.

В настоящее время среди геологов всего мира, изучающих тектонику офиолитов, несмотря на весьма различающиеся взгляды на происхождение слагающих их горных пород, существует почти единодушное мнение, что рассмотренный выше разрез офиолитовой ассоциации в складчатых областях характеризует океаническую кору геологического прошлого и что он вполне сравним с разрезами современных океанов.

Изучение тектоники и, главным образом, геологическое картирование выделенных выше комплексов офиолитового разреза на Урале, в Тянь-Шане, в Аппалачах и в других складчатых сооружениях показали, что первоначально эти комплексы слагали субгоризонтальные зоны («горизонты»), которые впоследствии были деформированы. Однако удовлетворительного объяснения природы субгоризонтального положения этих зон для офиолитовых разрезов геологического прошлого, как и для разрезов современных океанов, где эти зоны также имеют субгоризонтальное залегание, еще не найдено.

Если бы формирование метаморфитов габброидного комплекса было синхронным образованию океанических базальтов, можно было бы предположить, что при быстром растяжении земной коры происходит увеличение интенсивности тепловых потоков, вызывающих высокотемпературный метаморфизм на небольших глубинах. В таком случае метаморфиты залегали бы первично субгоризонтально. Но такое предположение вряд

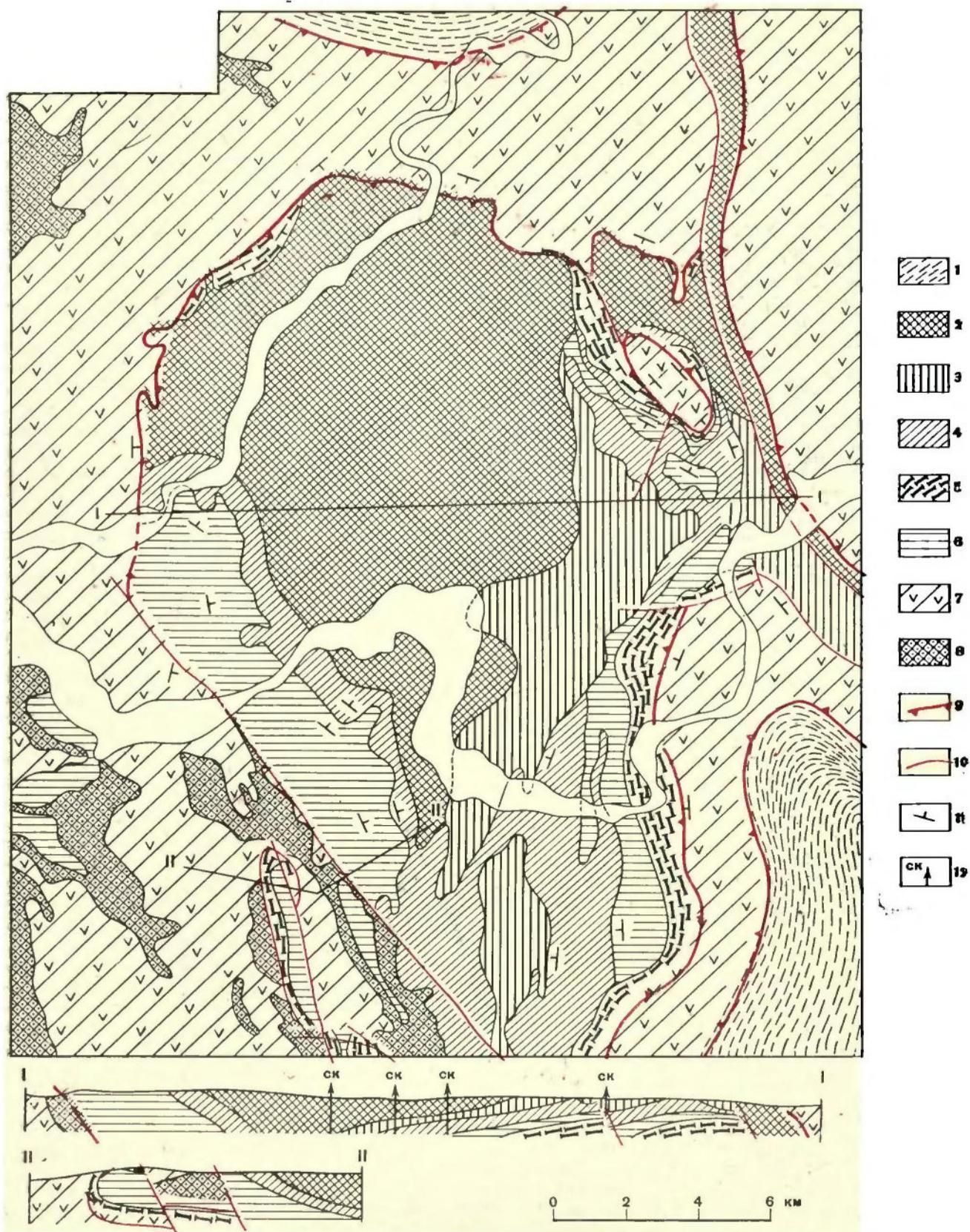
ли можно рассматривать как единственный механизм.

Возможно, что метаморфизм происходил раньше излияния базальтов и на больших глубинах в субгоризонтальной зоне около формирующейся поверхности Мохоровичича (между земной корой и мантией) и что при последующем растяжении плит земной коры он обнажился в основании будущих эвгеосинклиналей. В таком случае первичное субгоризонтальное его положение вполне понятно. Геологически этот процесс более реален, так как в больших тектонических покровах мы практически всюду наблюдаем гигантские тектонические срывы тонких пластин земной коры по серпентинизированным ультрамафитам верхней мантии близ сформировавшейся поверхности Мохоровичича и выше в коре около поверхности Конрада (раздел гранитного и базальтового слоев).

Здесь нужно сказать, что минералы, из которых состоят ультраосновные породы, в результате различных процессов могут превращаться в серпентин, жирноватый на ощупь зеленый водный силикат магния. Скопления серпентина образуют породу, называемую серпентинитом. Последняя довольно пластична и потому она очень сильно влияет на перемещение горных масс. В указанном выше случае серпентинизированные породы являются как бы «смазкой» для движущихся пластин. Все сказанное, конечно, не находится в противоречии с имеющимся предположением о том, что, возможно, одновременно смещаются и более толстые плиты внутри верхней мантии по поверхности волновода (слоя пониженной вязкости, или астеносферного слоя).

Как уже отмечалось, «комплекс II» складчатых зон имеет сложное строение. Ранние его образования представлены метасоматическими габброидами. Структурно-текстурные особенности, а также минеральные парагенезы указывают, что эти габброиды возникли в условиях высоких температур в обстановке тектонического покоя (или растяжения). Более поздние образования сложены амфиболовыми габбро, амфиболитами и зелеными сланцами. Габброамфиболиты обладают четкими гнейсовидными

Рис. 4. Строение Хабарнинского офиолитового аллохтона (тектонического покрова) на Южном Урале. Офиолиты залегают в чрезвычайно сложных тектонических взаимоотношениях с окружающими породами (см. два схематических профиля I—I и II—II под картой, на которой показано их приблизительное положение) и испытали многократные фазы деформаций и метаморфизма. На этой геологической карте видно, что ультрамафиты и габбро образуют ядро гигантской лежачей складки, верхнее крыло которой почти полностью размыто, а в пределах нижнего крыла наблюдается перевернутый «верх ногами» разрез гипербазит-габбровой ассоциации. 1 — метаморфические сланцы докембрия, 2 — гарцбургиты, 3 — дуниты, 4 — полосчатый комплекс, 5 — амфиболиты, 6 — габброиды, 7 — базальты и кремни, 8 — серпентинитовый меланж, 9 — поверхности шарьяжей, 10 — разломы, 11 — элементы залегания, 12 — скажины.



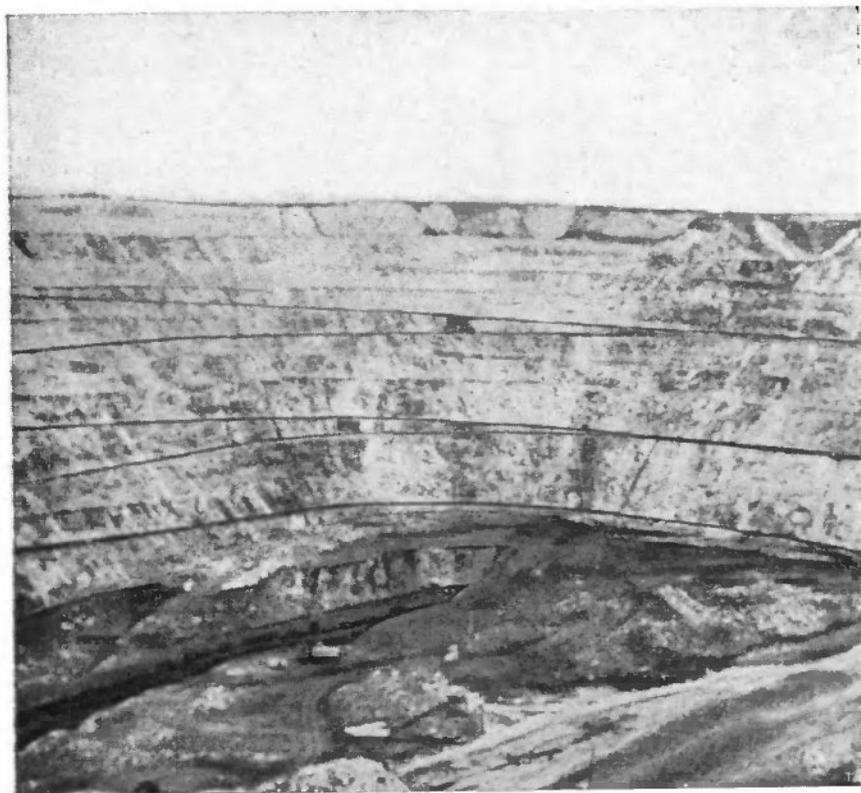


Рис. 5. Мантийные ультрамафиты в глубоком карьере на Южном Урале. В современной структуре они находятся в аллохтонном, т. е. тектонически поднятом и надвинутом, положении. В нижнем палеозое они залежали ниже земной коры, под поверхностью Мохоровичича. Поэтому их надо считать породами верхней мантии.

структурами, ориентированными параллельно поверхностям тектонических пластин. Указанные образования возникли за счет метасоматических габбро и диабазов в условиях интенсивного стресса.

Структурное положение

В последние годы было установлено, что габбро-гипербазитовые массивы в большинстве случаев имеют тектонические соотношения с вмещающими породами и нередко слагают обширные аллохтонные, т. е. надвинутые и тектонически смятые в складки, пластины. Наиболее крупные глубинные тектонические срывы на Урале, в Тянь-Шане, в Аппалачах, в Сре-

диземноморском поясе и в других складчатых сооружениях чаще всего возникают в результате перемещения земной коры по серпентинизированным мантийным ультрамафитам, залегающим в основании крупных аллохтонных пластин. Очевидно, этому способствует предшествующее надвиганию тектоническое отслаивание коры в результате серпентинизации мантийных ультрамафитов приблизительно параллельно поверхности Мохоровичича. Хорошо изучены офиолитовые аллохтоны на Урале, в Аппалачах, Омани, Сирии и в других местах, тектонически перемещенные на большие расстояния (минимум 100—200 км) из звгеосинклинали в область окраинных (миогеосинклинали) зон складчатого пояса. Иногда, как в Омани и Сирии, да и в Северных Аппалачах, они перекрывают даже край примыкающих древних платформ.

Офиолитовые аллохтоны Урала и Северных Аппалачей имеют определенное структурное положение. И те, и другие слагают верхние покровные элементы в системе тектонических

покровов у окраин платформ. Однако внутренняя структура Сакмарского аллохтона на Южном Урале, состоящая из множества смятых тектонических пластин с широким развитием так называемого серпентинитового меланжа (бесструктурное скопление кусков и глыб офиолитов, реже других пород, плавающих в серпентинитах), отличается от краевых офиолитовых аллохтонов Ньюфаундленда в Канаде, которые больше похожи на проще построенный Кракинский офиолитовый аллохтон Урала.

В связи с развитием таких тектонических покровов (шарьяжей) нередко возникает мощный серпентинитовый меланж и происходит протрузия (протрузия) серпентинизированных ультрамафитов в верхние структурные этажи во время тектонических фаз.

Серпентинитовый меланж — чисто тектоническое образование, возникшее в результате дробления и перемешивания главным образом пород офиолитовой ассоциации. Эпохи образования меланжа по времени совпадают с периодами или фазами сильнейших тектонических сжатий. В это же время возникают крупные офиолитовые аллохтоны.

В различной степени серпентинизированные ультрамафиты дают начало весьма пластичной массе. Последняя внедряется в вышележащие толщи, появляясь на разных структурных уровнях. В результате такого «холодного» протрузивного внедрения серпентиниты обогащаются глыбами вмещающих пород, превращаясь в чрезвычайно характерную тектоническую брекчию, получившую название серпентинитового меланжа.

По-видимому, после тектонического отрыва более или менее мощной габбро-гипербазитовой пластины она расчленялась на отдельные блоки, давшие начало частным покровным пластинам, сминавшимся и раздроблявшимся вместе с пластинами вышележащих толщ. Большое значение в этом процессе меланжирования, как я уже сказал, имеют протрузии серпентинитов и протрузии меланжа более ранних стадий формирования.

Серпентинитовый меланж в складчатых областях иногда слагает тела мощностью более 1000 м на площади

в сотни квадратных километров. Описан он теперь во многих офиолитовых поясах мира. Широко развит меланж также на Южном Урале. Здесь встречаются поля серпентинитов, переполненных глыбами горных пород самого различного состава. Имеются глыбы серпентинизированных гипербазитов, габбро, амфиболитов и зеленых сланцев, разнообразных эффузивных пород, кремней. Характерно присутствие экзотических глыб кембрийских, ордовикских и силурийских известняков, зоны первичного накопления которых до сих пор точно не определены, а также глыб кристаллических сланцев. Отличительная черта меланжа этого типа — полное перемешивание всех глыб. Как правило, не удается наметить их связи с прилегающими полями вулканогенно-осадочных отложений.

В структурном отношении такой пестрый (полимиктовый) меланж образует более или менее мощные пластовые тела, расположенные между отдельными пластинами. Его формирование, по-видимому, связано с дроблением и перемешиванием пород отдельных тектонических покровов. Серпентинитовый меланж служил в качестве смазки, способствовавшей покровообразованию. По-видимому, такая его природа объясняет значительную степень перемешивания глыб в серпентинитовой массе, а также значительный их отрыв от корневых зон (экзотические глыбы).

На местности зоны серпентинитового меланжа образуют очень характерный мелкосопочный рельеф, где каждая сопка по составу пород отличается от соседней.

В процессе движения покровных пластин формируется также так называемый дикий флиш, или олистостромы, которые не следует называть меланжем. Этот термин рекомендуется оставить только для тектонических образований типа серпентинитового меланжа.

Олистостромы повсеместно залегают среди флишоидных формаций¹. Общеизвестно, что олистостромы

¹ Флиш — закономерное переслаивание нескольких различных по составу слоев морских отложений, группирующихся в ритмически повторяющиеся циклы.

образуются осадочным путем на дне моря в результате размыва продвигающихся покровных пластин, оползающие массы которых иногда образуют огромные отторженцы — олистолиты. Олистостромы всегда тектонически погребены под надвинутыми на них аллохтонными пластинами, да и собственно флиш как будто всюду на Земле тектонически связан с формированием покровных пластин океанической или континентальной коры.

Таким образом, олистостромы или дикий флиш, хотя и связаны с формированием тектонических покровов, но генетически это совершенно особые образования.

В заключение необходимо подчеркнуть, что изучение офиолитов складчатых областей, океанов и океанических островов имеет громадное значение для развития современной тектонической теории — глобальной тектоники. Это было одним из мотивов созыва упоминавшегося выше Международного симпозиума по геологии офиолитов в Геологическом институте АН СССР в Москве под эгидой Подкомиссии по международным тектоническим картам и Международной комиссии по структурной геологии.

Если стратиграфические разрезы офиолитов эвгеосинклиналей, о которых шла речь, правильны, мы неизбежно должны прийти к выводу, что они характеризуют тектонические фрагменты океанической коры геологического прошлого складчатых областей. Однако области распространения океанической коры на Земле в настоящий момент, как и в геологическом прошлом, настолько обширны, что трудно предполагать одинаковую во всех местах ее геологическую историю. Выясняется, что геологическая история формирования офиолитовых разрезов не только континентов, но и океанов оказывается сложной. По этим разрезам устанавливается несколько стадий диастрофизма и метаморфизма. Это доказывает тем, что для многих мест установлено существование налегающих одна на другую разновозрастных серий толеитовых базальтов по разному дислоцированных и метаморфизованных. Поэтому вполне логично допустить, что в современных океанах существуют участки с разрезами,

в которых, например, метаморфиты третьего геофизического слоя (базальтового слоя) могут быть палеозойскими или еще более древними, а во втором слое есть базальты не только верхнемезозойские и кайнозойские, как многие думают, но и более древние. Это тем более вероятно, что драгированием в океанах установлены породы достаточно зрелых стадий развития океанической коры (диориты, плагиограниты). Нет лишь более или менее крупных участков настоящей континентальной коры.

Океаническая кора, по-видимому, возникает как новообразование в процессе раздвижения океанических плит. Но, с другой стороны, вполне убедительно доказывается, например на материале Урала, что метабазитовый фундамент на достаточно обширных пространствах в эвгеосинклиналях не вновь образован, а сохранился от ранее образованного базальтового слоя в результате раздвижения земной коры по древним поверхностям Мохоровичича или Конрада, а океанические базальты или глубоководные осадки (на Урале это верхний ордовик и силур) ложатся прямо на эти метабазиты или местами на гипербазиты. Косвенно это предположение подтверждается тем, что в складчатых областях едва ли не главными поверхностями срыва в наиболее крупных покровах являются именно эти поверхности. Кроме того, радиометрические датировки метабазитов в ряде мест, например Альпийского пояса, указывают на громадную разницу по времени образования метабазитов и вышележащих океанических осадков.

Вполне возможно, что при раздвижении плит океанической коры в зияниях возникает новая океаническая кора, а при раздвижении плит континентальной коры, когда это раздвижение происходит по поверхностям выше волновода, в зияниях остаются блоки ранее образовавшихся ультрамафитов и мафитов.

Из сделанного далеко не полного рассмотрения офиолитов ясно, что дальнейшее их изучение несомненно приведет к разработке многих важнейших проблем геологии.