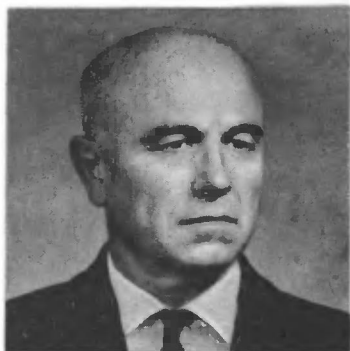


Мобилизм и тектоническая расслоенность литосферы

А. В. Пейве, В. Г. Трифонов



Александр Вольдемарович Пейве, академик, директор Геологического института АН СССР, автор фундаментальных работ в области изучения структур земной коры, ее движений и эволюции. В «Природе» опубликовал статьи: Офиолиты и земная кора (1974, № 2); Геология сегодня и завтра (1977, № 6). Лауреат Государственных премий СССР. Герой Социалистического Труда.



Владимир Георгиевич Трифонов, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кабинетом неотектоники и дешифрирования космических снимков Земли того же института. Занимается изучением неотектоники, современной геодинамики и применением аэрокосмической информации в геологии.

В течение последних десятилетий в геотектонике окончательно утвердились представления о блоковом строении литосферы и о преобладании в ней горизонтальных перемещений горных масс. Тектонические концепции, основанные на этом принципе, получили название мобилистских. Среди них наибольшей популярностью пользуется «теория тектоники плит», согласно которой отдельные плиты литосферы раздвигаются от рифтовых поясов и, сближаясь в противоположных частях, пододвигаются одна под другую в так называемых зонах субдукции. В рифтовых поясах, выраженных на поверхности грабенами и вулканическими структурами, за счет притока дифференциатов мантий-

ного материала происходит образование тонкой океанической коры основного (т. е. сравнительно бедного SiO_2) состава, а в зонах субдукции в результате структурных и химических изменений океаническая кора преобразуется в континентальную, более мощную, более метаморфизованную и обогащенную SiO_2 , щелочными и другими элементами.

В основе «теории тектоники плит» лежат представления о жесткости движущихся плит, охватывающих всю толщу литосферы. Ниже, на глубинах от нескольких десятков до полутора сотен километров начинается астеносферный слой, отличающийся от смежных частей литосферы пониженной скоростью прохождения сейсми-

ческих волн и, вероятно, пониженными вязкостью и прочностью. В современном варианте «теории тектоники плит» предполагается, что плиты литосферы движутся по астеносферному слою или, скорее, вместе с ним, подобно льдинам на воде. Однако новые геологические и геофизические факты дают основание полагать, что гигантских цельных и жестких литосферных плит не существует. Литосфера пронизана горизонтальными, наклонными и вертикальными подвижными зонами, так что отдельные ее пластины, названные литопластинами, перемещаются дифференцированно, будучи разделены слоями пониженной вязкости и прочности — астенослоями. Эти новые структурно-кинематические представления получили название концепции тектонической расслоенности литосферы¹.

Напомним, что в составе литосферы различаются земная кора (океанического, континентального и промежуточного типов) и подстилающая ее верхняя мантия, разделенные поверхностью Мохоровичича. В океанической коре под чехлом рыхлых осадочных пород залегают базальты, а под ними — интрузивные и метаморфические породы основного состава. В континентальной коре под осадочным или вулканогенно-осадочным чехлом обычно находятся в той или иной мере метаморфизованные породы гранито-гнейсового слоя. Ниже залегают более метаморфизованные и, как правило, более основные породы. В основании разреза земной коры местами выделяется так называемый полосчатый комплекс, представленный чередованием габброидов и метабазитов, характерных для нижних горизонтов коры, с дунит-гарцбургитовыми породами, характерными для верхней мантии. Вывод о тектонической расслоенности литосферы, т. е. структурной автономности и дифференцированности перемещений литопластин, сложенных перечисленными комплексами пород, основан на разнообразных геологических и геофизических данных.

Важнейшая группа доказательств связана с обнаружением в складчатых областях современных континентов сорванных покровов — обширных пластин горных пород, перемещенных по наклонным, иногда почти горизонтальным поверхностям на значительные расстояния от мест их первоначаль-

ного залегания. Систематизировавший сорванные покровы С. В. Руженцев² различает срывы внутри осадочного чехла, по границе между чехлом и кристаллическим основанием и внутри основания. О глубине отслоения и срыва можно судить по характеру пород, слагающих сорванную пластину — аллохтон. Сорванные покровы чехла были впервые описаны в начале столетия в Альпах. В дальнейшем геологи обнаружили подобные образования во многих складчатых сооружениях Альпийско-Азиатского горного пояса, Урала, Западной Европы, Аппалачей и др. Характерны многократные наложения ряда сорванных пластин, редко выдержанные на большом протяжении. Величина известных геологам горизонтальных смещений горных масс переменна и обычно не превышает нескольких десятков километров.

Аллохтоны, включающие те или иные комплексы пород кристаллического основания, по мнению С. В. Руженцева, более протяженны и, вероятно, больше смещены, чем покровы чехла. Гранито-гнейсовые аллохтоны, возникшие в результате срыва верхней части континентальной коры, известны в Восточных Альпах, Карпатах, Гималаях. Более глубинные срывы, описанные, например, в Родобах и на Юго-Западном Памире, возникли, по-видимому, вблизи поверхности Мохоровичича. Они вывели на земную поверхность породы не только верхней, но и нижней части континентальной коры: плагиогнейсы, гранулиты, высокометаморфизованные габброиды, иногда ультрабазиты.

В последние десятилетия объектом пристального внимания геологов стали офиолитовые зоны и пояса. В них вскрываются морские осадочные породы, вулканические (обычно базальтовые) серии и породы древнего фундамента мафического, т. е. основного и ультраосновного состава. Эти образования обычно в той или иной мере метаморфизованы, но сходство их первичного состава и залегания с разрезами современной океанической коры позволяет видеть в них реликты древних океанов, исчезнувших в результате тектонической и химической переработки океанической коры и сближения перемещавшихся в горизонтальном направлении континентальных литопластин побережий³.

¹ Приоритет в разработке этого нового направления в тектонике принадлежит советским геологам. См.: Пейве А. В. Геотектоника, 1967, № 5, с. 8.

² Тектоническая расслоенность литосферы. М.: Наука, 1980.

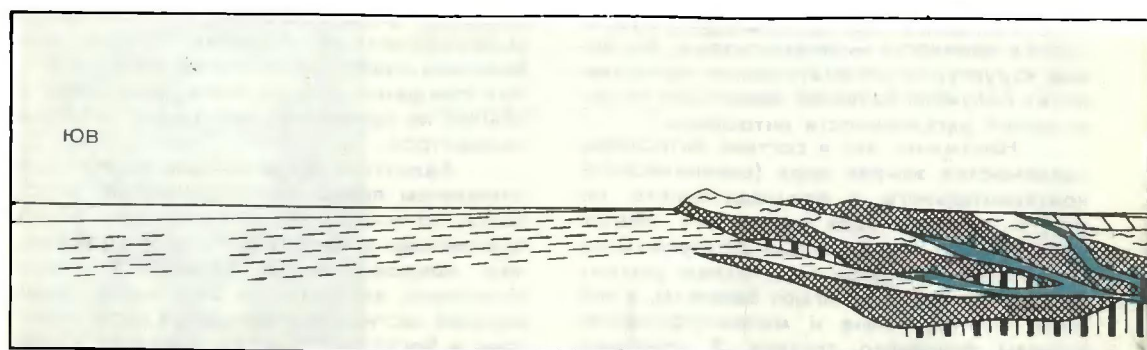
³ Пейве А. В. Офиолиты и земная кора. — Природа, 1974, № 2, с. 18.

Не удивительно поэтому, что офиолитовые серии часто имеют аллохтонное залегание и содержат в своем составе такие глубинные образования, как полосчатый комплекс, верхнемантийные дуниты и гарцбургиты. Можно полагать, что в этих зонах срыва происходил на уровне древней подошвы земной коры и внутри верхней мантии. Сорванные покровы такого типа детально изучены на Урале, в Северо-Американских Кордильерах, Альпах, на северо-востоке Азии и в других офиолитовых поясах.

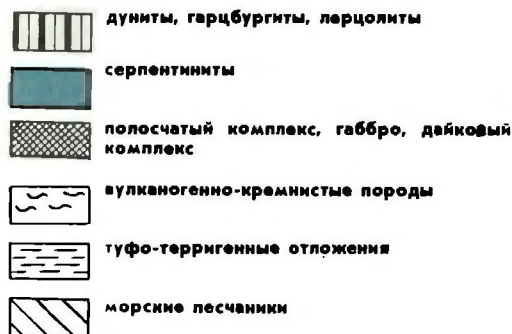
Большинство сорванных покровов

рения глубинного материала базальтового состава. Этот материал внедрялся по многочисленным трещинам, образуя дайковые серии и раздвигая тем самым окружающие породы.

На примере древних океанических образований Урала, Западных Саян и Монголии А. С. Перфильев и Н. Н. Херасков показали, что дайки, а иногда и сопровождающие или замещающие их магматические брекчии, насыщают нижнюю, габброидно-ультрабазитовую часть древней коры, но количество их резко уменьшается в под-



Глубинный сорванный покров, охватывающий земную кору и часть верхней мантии (реконструкция строения Корякского нагорья для кампанского века верхнемеловой эпохи; по С. В. Ружанцеву и С. Д. Соколову). Покров сложен породами верхней мантии и океанической коры, перекрытой морскими осадками. Вдоль зоны срыва сосредоточены породы пониженной вязкости — серпентиниты.



сформировалось в ходе преобразования океанической коры в континентальную и последующих деформаций континентальной коры. Можно полагать, однако, что выразившееся в этих срывах тектоническое расслоение литосферы унаследовано от более ранней, океанической стадии формирования и развития земной коры, когда происходило ее наращивание за счет внед-

стилающем дунит-гарцбургитовом слое верхней мантии, испытывавшем интенсивную и сложную складчатость. Следовательно, раздвигание древней океанической коры происходило автономно от верхней мантии. Любопытно, что в основании серии даек и магматических брекчий нередко присутствуют силлы — послойные магматические тела, перемещавшиеся вдоль поверхностей срыва и скольжения раздвигавшейся коры, а, возможно, и сформировавшиеся в результате разогрева, вызванного таким скольжением.

Приведенные примеры характеризуют древние складчатые пояса. Здесь глубинные зоны срыва и дифференцированного горизонтального перемещения горных масс — астенослои в результате последующих геологических процессов оказались на земной поверхности и стали доступны непосредственному наблюдению.

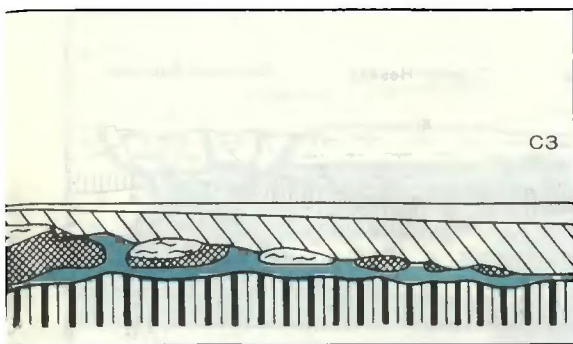
Иначе обнаруживаются признаки расслоенности в новейших (последние миллионы лет) и совсем молодых (последние десятки тысяч лет) структурах. Они повсеместно отражены в деформациях земной поверхности, и именно их характеризуют явления современной сейсмичности, повышение теплового потока и изменение некоторых других параметров среды, изменяемых геофизическими методами. Одна-

ко, в отличие от древних астенослоев, зоны новейших срывов и дифференцированных перемещений, как правило, скрыты на глубине, и задача сводится к поиску их проявлений в деформациях поверхности, сейсмичности и современных геофизических полях.

Способ решения этой задачи был предложен В. И. Макаровым, Ю. К. Щукиным и авторами⁴. Он основан на том, чтобы по комплексу признаков (степени и форме отражения в деформациях поверхности, вулканическим и гидрохимическим прояв-

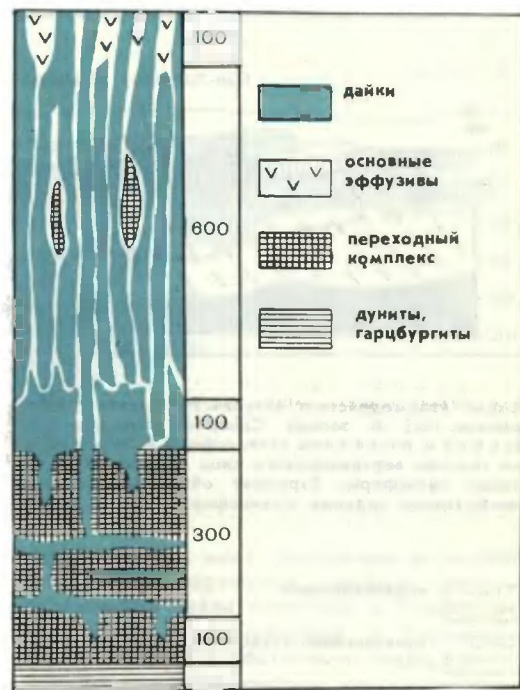
ма левых (против часовой стрелки) сдвигов, надвигов и сжатых складок Поперечных хребтов восток-северо-восточного простирания и связанная с ней система субмеридиональных сбросов, горстов и грабенов Провинции бассейнов и хребтов.

Эти три системы развиваются, как показал А. В. Лукьянов, в динамическом единстве и образуют типичную для континентов ассоциацию структур. Судя по их сейсмическим характеристикам, а также структурно-геологическим, гравиметрическим, геотермальным и гидрохимическим



лениям, геофизическим полям и сейсмичности) определить, на каких глубинах те или иные новейшие структуры развиваются наиболее активно. На основе такого анализа проводится сопоставление структур, одновременно развивающихся в данной области на разных уровнях литосферы. Оказалось, что на разных глубинах нередко различаются как активность новейших зон нарушений, деформаций и магматической проницаемости, так и общий рисунок их расположения. В частности, были обнаружены глубинные подвижные зоны, весьма слабо и опосредованно отраженные в деформациях поверхности. Все это указывает на дисгармонию, автономность неотектонического развития разных слоев литосферы.

Так, на западе США среди новейших структур земной поверхности наиболее активна система разломов Сан-Андреас, которая протягивается с юго-востока на северо-запад более чем на 1000 км и характеризуется правыми сдвиговыми перемещениями (т. е. по часовой стрелке) со средней скоростью около 3 см в год. С системой Сан-Андреас сочетается систе-



Принципиальная схема строения дайковых комплексов в разрезе древней океанической коры (по А. С. Перфильеву и Н. Н. Хараскову). Дайки пронизывают нижние слои коры и частично переходный комплекс, но отсутствуют в верхней мантии. Справа указаны мощности выходов в метрах.

данным, системы разломов нарушают верхний слой коры мощностью до 15—20 км, но глубже не продолжают. Под Сан-Андреасом, например, верхнемантийная зона высоких скоростей прохождение сейсмических волн протягивается с запада на восток, не испытывая смещения, а соотношения концентрации изотопов гелия и значения теплового потока указывают на отсутствие прямой связи разлома Сан-Андреас с верхней мантией.

⁴ Макаров В. И., Трифионов В. Г., Щукин Ю. К. Геотектоника, 1974, № 3, с. 114; Макаров В. И., Щукин Ю. К. Геотектоника, 1979, № 1, с. 96.

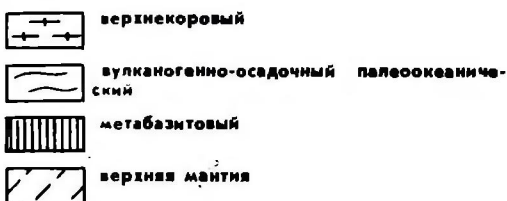
О новейшем тектоническом развитии (последние миллионы лет) более глубоких слоев литосферы свидетельствуют лишь косвенные признаки: аномалии в новейшем структурном рисунке поверхности, распределение вулканических образований и теплового потока. По ним реконструируется, например, главная система глубоких деформаций⁵. Она отстоит от Сан-Андреаса на 300–400 км к востоку и образована сочленяющимися почти под прямыми углами зонами относительного растяжения и сдвига, т. е. сходна с рифтово-трансформ-

турах разных слоев литосферы, обнаружены на Кавказе. В земной коре его юго-восточной части, например, различаются: новейшие структуры осадочного чехла (продольные к Кавказу складки и разрывы); структуры верхней части кристаллического основания (зоны диагональных и поперечных к Кавказу нарушений и деформаций); структуры более глубоких слоев коры (взбросовая зона «южного склона» Большого Кавказа). Направления смещений в этих трех структурных этапах отражают единый процесс сжатия земной



Схема взаимодействия литопластин востока Тихого океана [А] и запада Северной Америки [Б]. Цветом показаны астеносфера и зоны срывов на границе верхнекорового слоя и более глубоких слоев литосферы. Стрелкой обозначена область наибольшего подъема астеносферы.

Слом:



ными системами срединно-океанических хребтов. Таким образом, главные элементы новейшей структуры верхней части континентальной коры и более глубоких слоев литосферы не только разобщены пространственно, но и различаются по существу, поскольку образуют в первом случае континентальную, а во втором — океаническую структурные ассоциации.

Признаки более многослойной дисгармонии, т. е. различий в новейших струк-

туры в результате сближения Аравии и Евразии, но реализуется оно в каждом структурном этапе по-своему. Различия более крупного масштаба намечаются на Кавказе между структурными этапами коры, которые охарактеризованы выше, и верхней мантией, где развивается крупная меридиональная система структур растяжения и магматической проницаемости. Эта система отражена на земной поверхности Транскавказским вулканическим поясом и, по мнению Е. Е. Милановского, продолжает Африкано-Аравийскую рифтовую систему.

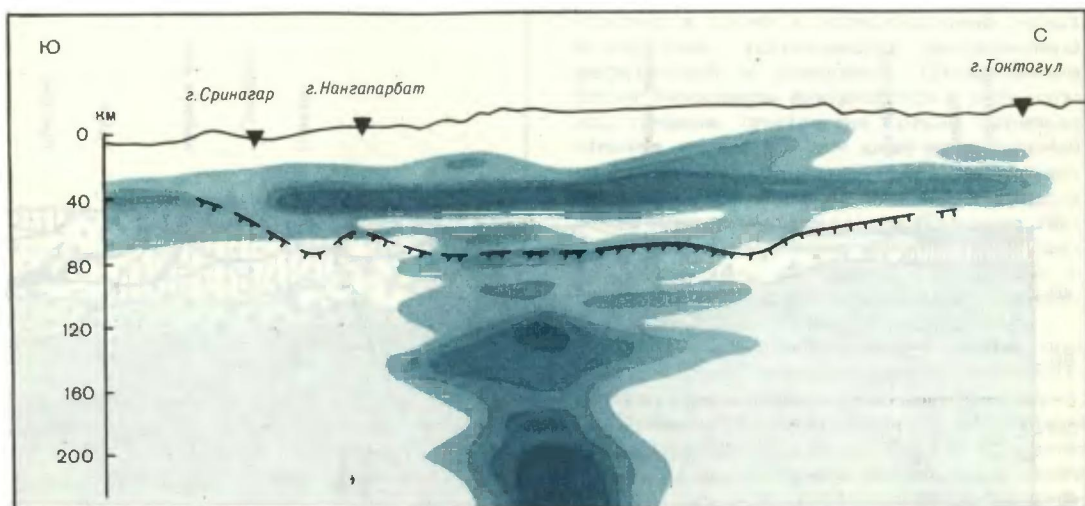
Еще более интенсивное сжатие, с которым связано грандиозное воздымание гор юга Средней Азии, Гиндукуша, Каракорума и Гималаев, было результатом сближения Индостана и Евразии. В процессе движения Индостанского клина к северу тектонические зоны, располагавшиеся севернее его, вовлекались в деформации, приводившие к срыву осадочного чехла и части кристаллического основания. Сорванные зоны сливались с Индостанским клином и двигались вместе с ним, вовлекая в деформации следующий участок. В результате зона наиболее активных верхнекоровых деформаций и смещений, отвечающая северному фронту движущегося клина, в течение последних 30 млн лет не-

однократно мигрировала к северу от верховий р. Инда до предгорий Памира.

Данные Ю. К. Щукина, проанализировавшего распределение очагов землетрясений, показывают, что надвиги и комбинированные надвиго-сдвиги современного северного фронта Индостанского клина, выходящие на земную поверхность в хребтах Петра Первого, Заалайском и их северных предгорьях, полого наклонены на юг и прослеживаются до глубины 30—40 км. А на глубине 60—250 км северный фронт Индостанского клина оказывается гораздо

ского горного пояса, на обрамлениях Тихого океана, в меньшей степени в континентальных и океанических рифтовых системах. Они отражают автономность развития отдельных слоев литосферы и возможность их дифференцированных горизонтальных перемещений.

На границах тектонически различно развивающихся слоев нередко регистрируются волноводы — горизонты понижения скорости и аномального поглощения сейсмических волн, вероятно, отражающие понижение эффективной вязкости и про-



Сейсмичность литосферы Тянь-Шаня и Памиро-Гималайского региона (по Ю. К. Щукину). Интенсивность окраски обозначает плотность гипоцентров землетрясений. На глубине около 40 км выделяется субгоризонтальная сейсмофокальная зона. Зубчатая линия соответствует положению поверхности Мехоровичича.

южнее (примерно на широте г. Хорога) и представлен почти вертикальной сейсмофокальной зоной. С различиями между активными зонами нарушений: разных структурных этажей связан и разный механизм реализации сжатия. Если в верхнем слое развиваются сорванные покровы, надвиги и складки, то глубже происходит утолщение литосферы и как бы отток горных масс в стороны от «острия» клина. На такой отток косвенно указывают сдвиговые смещения по субширотным коровым разломам Таджикской депрессии, Афганистана, Западного Китая и Монголии.

Те или иные признаки дисгармонии между новейшими тектоническими структурами разных слоев литосферы обнаружены и в других областях Альпийско-Азиат-

ности горных масс. Локальные волноводы в основании сорванных новейших структур осадочного чехла известны в Таджикской депрессии, Сулеймановых и Киртарских горах, Загросе и Восточном Тавре, где они приурочены к глинистым или соленосным толщам.

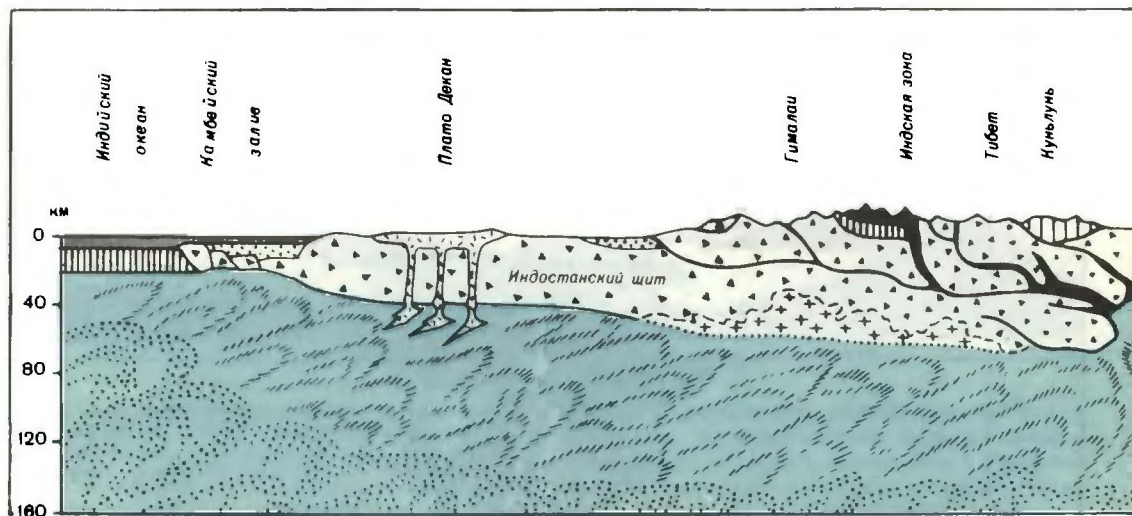
Для изучения более глубинных дифференцированных горизонтальных перемещений, по мнению Ю. К. Щукина, важны горизонтальные сейсмофокальные зоны, либо совпадающие с волноводами, либо расположенные непосредственно в их кровле или подошве. Такая зона выделена, например, под Памиром на глубине 35—40 км. В западной части Алеутской островной дуги, где глубина подобной зоны около 20 км, механизмы очагов землетрясений указывают на подвижки по горизонтальным поверхностям. Можно полагать, что по меньшей мере часть коровых волноводов сейсмоактивных областей образуется в результате дислокационного нарушения прочности среды или восстановления ее динамического равновесия, нарушенного

сильными землетрясениями. Дальнейшие подвижки по такой ослабленной зоне, проявляющиеся в виде более слабых сейсмических толчков, закрепляют изменения свойств среды. Со временем эти изменения могут усугубляться частичным плавлением горных масс за счет преобразования части механической энергии перемещения в тепловую.

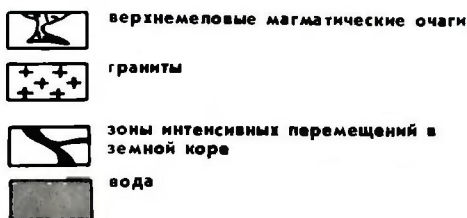
Во всяком случае, волноводы нередко служат границами вертикальных и наклонных сейсмоактивных разломов и зон. К волноводам и смежным с ними частям

литопластин зачастую приурочены близкие к горизонтальным сейсмогенные разрывы и зоны. Эти факты подтверждают наш вывод о том, что именно вдоль волноводов происходят наиболее интенсивные дифференцированные перемещения литопластин.

Волноводы внутри и в основании земной коры выявлены, главным образом, в современных подвижных поясах, но не ограничиваются ими. Они обнаружены и под океанической платформой востока Тихого океана, и под палеозойскими склад-



Схематический разрез литосферы Индостано-Тянь-шаньского региона (по А. А. Савельеву). Хорошо виден предполагаемый характер течения верхнемантийного материала литосферы, а также дисгармоничное перемещение земной коры относительно верхней мантии. Отдельные литопластины земной коры также смещены друг относительно друга и различно деформированы, на что указывают субгоризонтальные зоны интенсивных перемещений между коровыми литопластинами.



чатыми областями Западной Европы и Урала, и под древними платформами и щитами континентов (например, под Канадским, Балтийским и Украинским). Это дает основание предполагать, что тектоническое расслоение охватывает не только подвижные пояса, но и стабильные области литосферы. Возможно, оно имеет планетарное распространение.

В пользу такого предположения говорит и сопоставление скорости относительных движений крупных областей, охватывающих литопластины разной мощности и строения. Так, средняя скорость сближения Индостана и Евразии, рассчитанная для

континентальных блоков области их взаимодействия, составляет 3-5 см в год, тогда как скорость сближения Индостанской и Евразийской литосферных плит (т. е., по существу, скорость относительного движения смежных с Индостаном и Евразией литопластин с тонкой океанической корой) достигает 5-6 см в год⁶. Скорость относительного движения Тихого океана и Северной Америки, рассчитанная для континентальных литопластин запада США, оказывается в 1,5 раза меньше, чем для их океанического продолжения в Калифорнийском

Представление о структурно-кинематической неоднородности литосферы, состоящей из разделенных астенослоями литопластин, является новой концепцией мобилизма. Относительное движение литопластин представляется нам следствием течения горных масс в астенослоях. Оно неравномерно и по-разному распределено в разрезах литосферы разных областей, поскольку различны физические свойства литопластин, а астенослои имеют хотя иногда и значительную, но не планетарную протяженность. Неравномерность течения горных масс в астенослоях приводит к деформации и частичному разрушению литопластин, а также к возникновению новых астенослоев, усиливающих дисгармонию деформаций и смещений. Отторженные блоки литосферы вовлекаются в интенсивное течение, причем не только горизонтальное, но и с той или иной вертикальной компонентой. В результате происходит тектоническое перемешивание корового и мантийного материала на большую глубину, сопровождаемое химическими преобразованиями, частичным плавлением и гравитационной дифференциацией перемещающихся масс.

Можно полагать, что в целом под континентами перемешивание осуществляется интенсивнее, чем под океанами, но особенно значительно оно в подвижных поясах. В рифтовых подвижных поясах имеют место деструкция и раздвигание ранее сформированной коры с внедрением дифференциатов глубинного вещества. Во внутриконтинентальных и особенно окраинно-океанических подвижных поясах в результате столкновения и сжатия литопластин происходит аккреция коры и нарастание мощности литосферы как за счет скучивания коровых и мантийных масс, так и за счет физических и химических преобразований. Для таких областей гипотеза об общем пододвигании одной литосферной плиты под другую представляется сомнительной. Вероятно, тектонические процессы здесь более дифференцированы по глубине.

Возможность частичного плавления горных масс и транспортировки магматических продуктов вдоль зон интенсивных латеральных перемещений объясняет, на наш взгляд, многие особенности интрузивного магматизма и вулканизма континентов. С представлениями о тектонической расслоенности литосферы связаны и новые направления прогноза и поисков полезных ископаемых.

заливе. А скорость раздвижения верхнего слоя мощной океанической коры Исландии в 2 раза уступает скорости раздвижения литопластин с нормальной океанической корой в более южных районах Срединно-Атлантической рифтовой системы.

Во всех упомянутых случаях речь идет о различиях в скорости новейших относительных перемещений верхних литопластин областей с мощной земной корой и смежных с ними литопластин с тонкой океанической корой в пределах единого пояса нарушений и деформаций. Можно допустить, что эти различия отражают обособленность верхнекоровых образований, которые перемещаются медленнее подстилающих их литопластин и медленнее их океанических продолжений.

⁶ Средняя скорость сближения Индостана и Евразии рассчитана непосредственно по разрывным смещениям и складчатым деформациям континентальных блоков, а скорость сближения Индостанской и Евразийской литосферных плит — по полосовым магнитным аномалиям.

