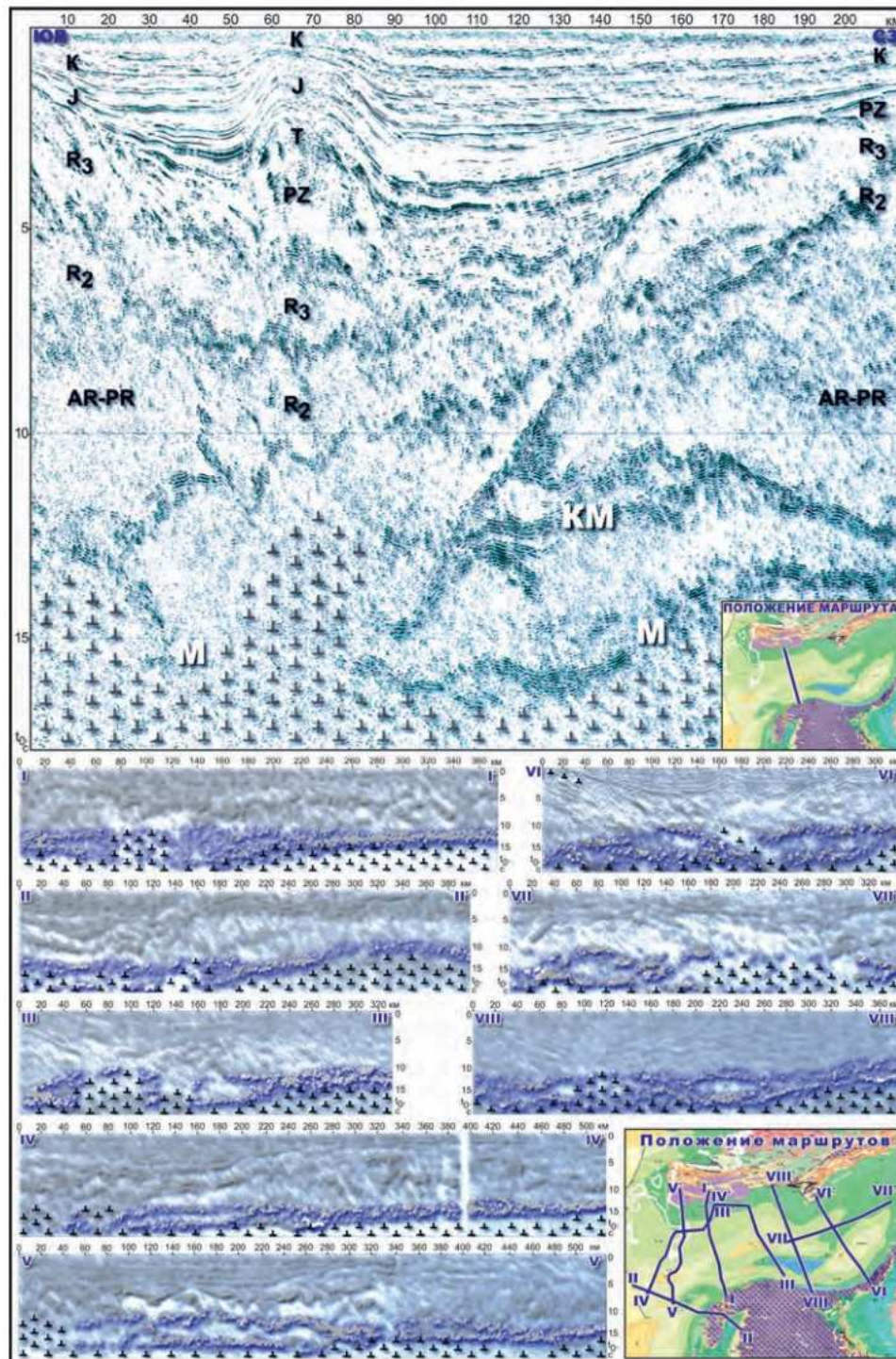


Новая глобальная геология

■ Кушнир Д.Г., АО “Таймыргеофизика”, группа компаний АО “Башнефтегеофизика”, г. Дудинка.

Аннотация: Полученные на полуострове Таймыр уникальные геофизические данные позволяют на новом уровне изучать геодинамическую природу крупнейших тектонических структур. Совокупность выявленных фактов и вытекающих из них выводов открывают принципиально новый взгляд на глобальную геологию, определяя изменение представлений о фундаментальных основах всех её разделов.



▲ Рис. 1. Высокоплотный слой в основании земной коры по данным сейсморазведки МОГТ.

Введение

В Таймырском секторе Арктики в ходе региональных нефтегазопроисловых исследований создан уникальный геофизический полигон на базе сейсморазведки МОГТ и электроразведки методом МТЗ, которые с небывалой детальностью освещают строение глубоких горизонтов земной коры и верхней мантии при одновременном детальном картировании осадочного чехла на территории площадью в несколько сот тысяч километров квадратных. Таймырский геофизический полигон позволяет изучать взаимосвязь истории становления крупнейших геоструктур с геодинамикой – впервые на уровне реальных геологических тел, надёжно прослеживаемых как в плане, так и в разрезе.

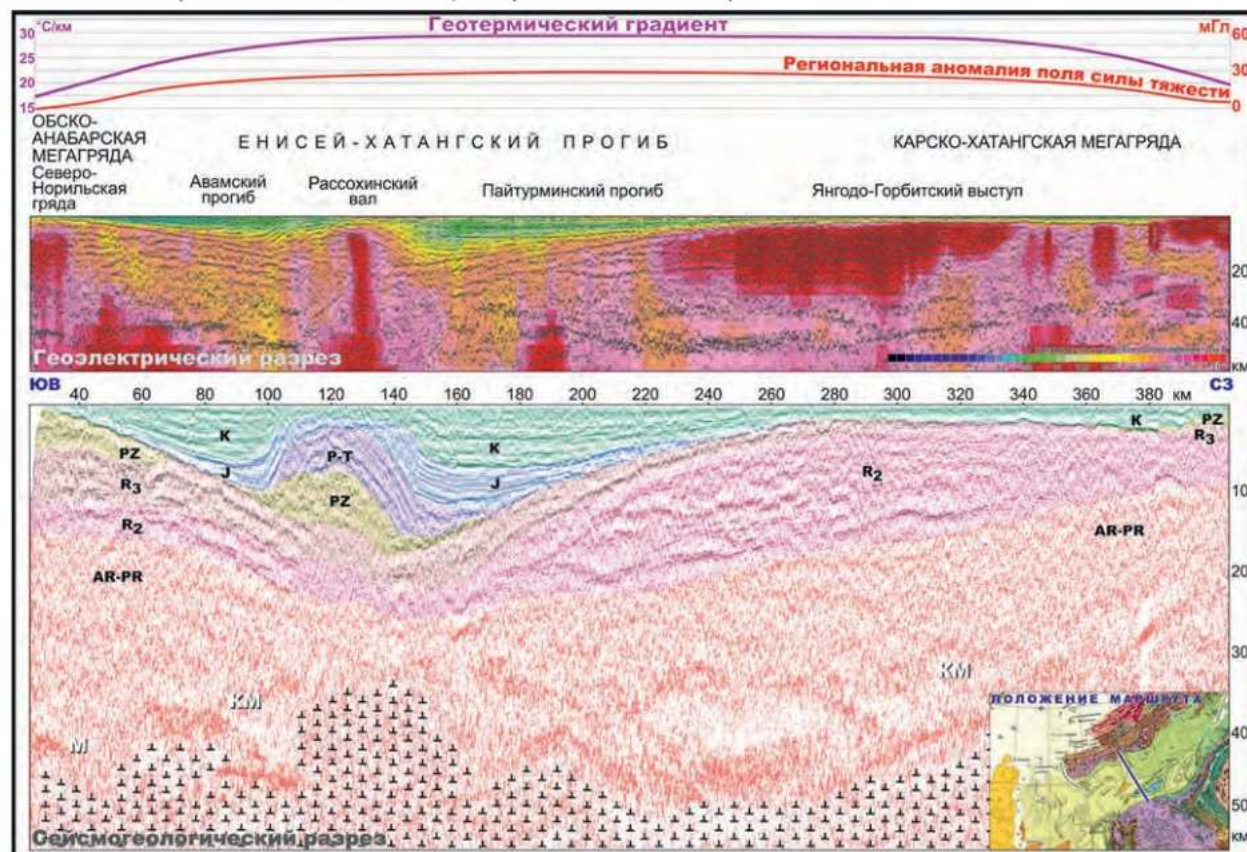
Аномалии строения раздела Мохоравичича сочетаются с запечатлёнными в осадках тектоническими процессами, во многом объясняя их природу [13, 17].

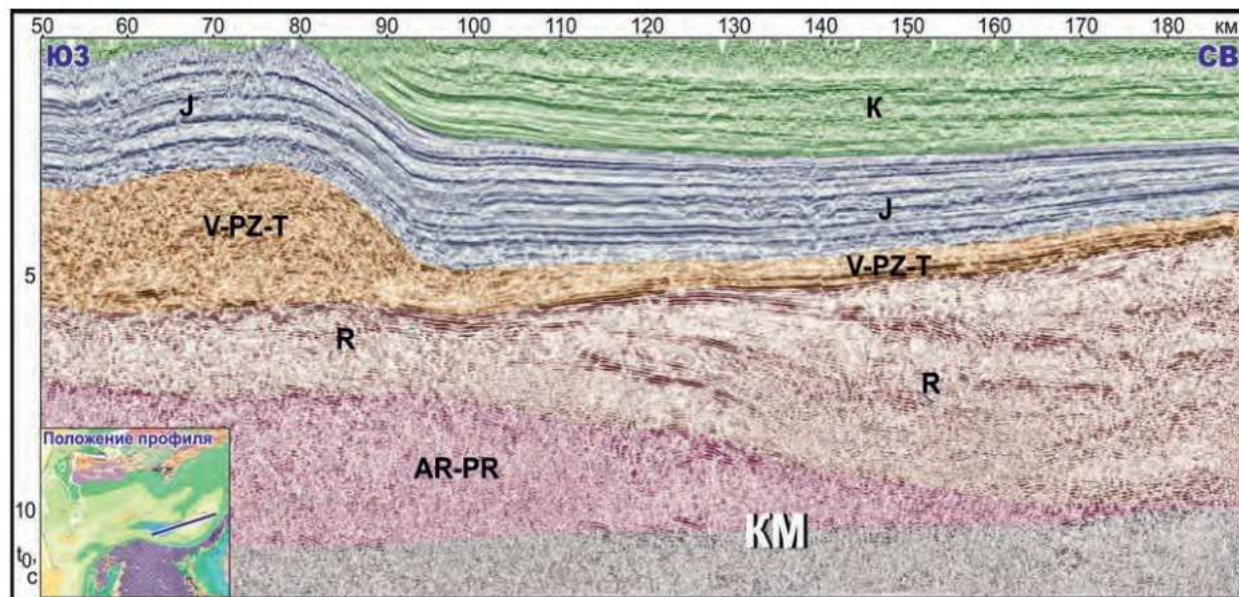
Крупнейшие мезозойско-кайнозойские впадины Центральной и Западной Сибири соотносятся с распространением высокоплотного слоя в низах земной коры, в то время как участки деструкции этого уплотнения отвечают инверсионным антиклинальным структурам, унаследовавшим положение древних депозитов прогибания (рис. 1-2). Тем самым, фиксируются вертикальные колебательные тектонические движения литосферы, дополняющие её горизонтальное перемещение [15, 18, 20].

Тектонические колебания

В общей сложности на Таймыре можно наблюдать до пяти высокоамплитудных инверсионных циклов, когда и накопление осадков, и их размыв измерялись километрами. Наиболее раннее прогибание, оставившее региональный след в осадочном чехле, имеет рифейский возраст, а мощность накопившихся

▼ Рис. 2. Геофизическая модель Центрального Таймыра.





▲ Рис. 3. Тектонические инверсии в осадочном чехле Енисей-Хатангского прогиба.

за этот период осадков достигает 10 км и более (рис. 3). По итогам первой отчётливой инверсии рифейские отложения оказались размыты, местами почти полностью. Вторая инверсия обусловила новое прогибание и привела к накоплению на выровненной поверхности рифея вендско-палеозойского осадочного комплекса, который в результате третьей инверсии оказался размыт, местами также полностью, несмотря на свою тоже весьма значительную мощность, приближающуюся к 10 км (рис. 2). Четвёртая инверсия обеспечила накопление многокилометровых толщ пермско-триасового возраста, а пятая – его размыв. Шестая и седьмая обусловили накопление и частичный размыв осадков юры и мела. Начавшиеся на данном этапе воздымание осевой части седиментационного бассейна и становление новых депоцентов на периферии взамен инверсировавшего продолжились в кайнозой, когда периодически возобновляют свой рост мегавалы, продолжается и прогибание, о чём свидетельствуют новейшие тектонические движения [10, 12].

Тектонические колебания, подобные описанным, традиционно назывались

геосинклинальными циклами [9]. Однако, согласно полученным на Таймыре новым данным, они охватывают не только подвижные области, но и всё пространство континентов [15]. При этом наиболее молодые, мезозойско-кайнозойские, тектонические движения, зафиксированные в осадочном чехле, совпадают с аномальным строением нижней части земной коры и верхней мантии, что позволяет полагать их генетическую взаимосвязь.

Наличие чётко выраженной и однозначно картируемой системы отражающих сейсмических площадок, как на верхней, так и на нижней границе наблюдаемого в основании коры уплотнённого слоя (раздвоение границы Мохоровичича, облегающее уплотнение – рис. 1-2), исключает поступление высокоплотного вещества со стороны мантии. Соответственно, становится нереализуемой одна из двух основных схем формирования земной коры [2], связанная с конвективными мантийными потоками, когда они, создавая растягивающие усилия, приводят к утонению крупных геоблоков и образованию впадин, а, сталкиваясь, обуславливают их утолщение и орогенез

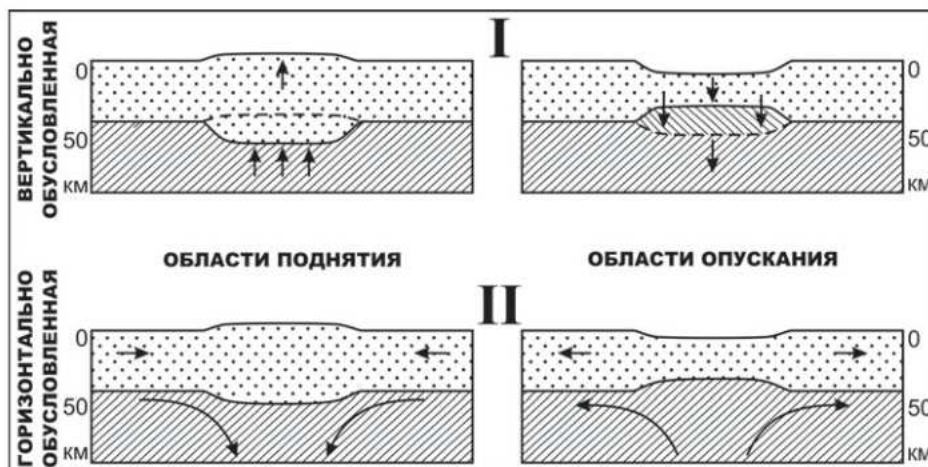


Рис. 4. Первая (I) и вторая (II) схемы деформации земной коры по М.В. Гзовскому [2].

(рис. 4). Исходя из этого, приходится считать и опускание, и воздымание следствием изостатического выравнивания, то есть, как показали полученные данные, земная кора опускается при уплотнении и воздымается при разуплотнении.

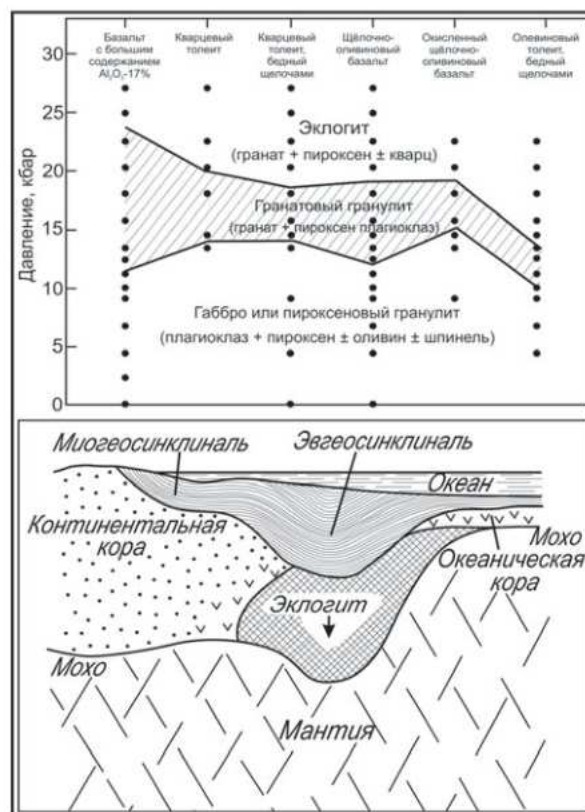
Одновременно, прослеживание на сейсмических разрезах МОГТ границы Мохо в подошве высокоплотного слоя, объединяющее его с земной корой, предполагает уплотнение коровых базальтов (рис. 1-2), которое, согласно лабораторным экспериментам [22], всегда соотносится с их фазовым переходом в эклогит, объясняемым ужесточением термобарических условий или увеличением флюидонасыщения. Эклогит превосходит по плотности не только образования земной коры, но и перидотиты верхней мантии, что и создаёт условия для изостатического опускания крупных геоблоков и появления соответствующих впадин (рис. 5).

Инверсионное воздымание также объясняется изостазией и связано с разрушением высокоплотного слоя внедрениями перидотитов верхней мантии, которые уступая по плотности и располагаясь ниже в разрезе, вынуждены всплывать, вытесняя эклогиты (рис. 6). Полное исключение из разреза высокоплотного эклогитизированного основания, когда оно уже захватило и преоб-

разовало большую часть кристаллической коры, приводит к существенному дефициту массы депрессионного геоблока, состоящего преимущественно из осадочных толщ (в той или иной степени изменённых) и его воздыманию с образованием орогена [3-4].

Становление горной системы приводит к смене эклогитизации базификацией и к магматической активизации.

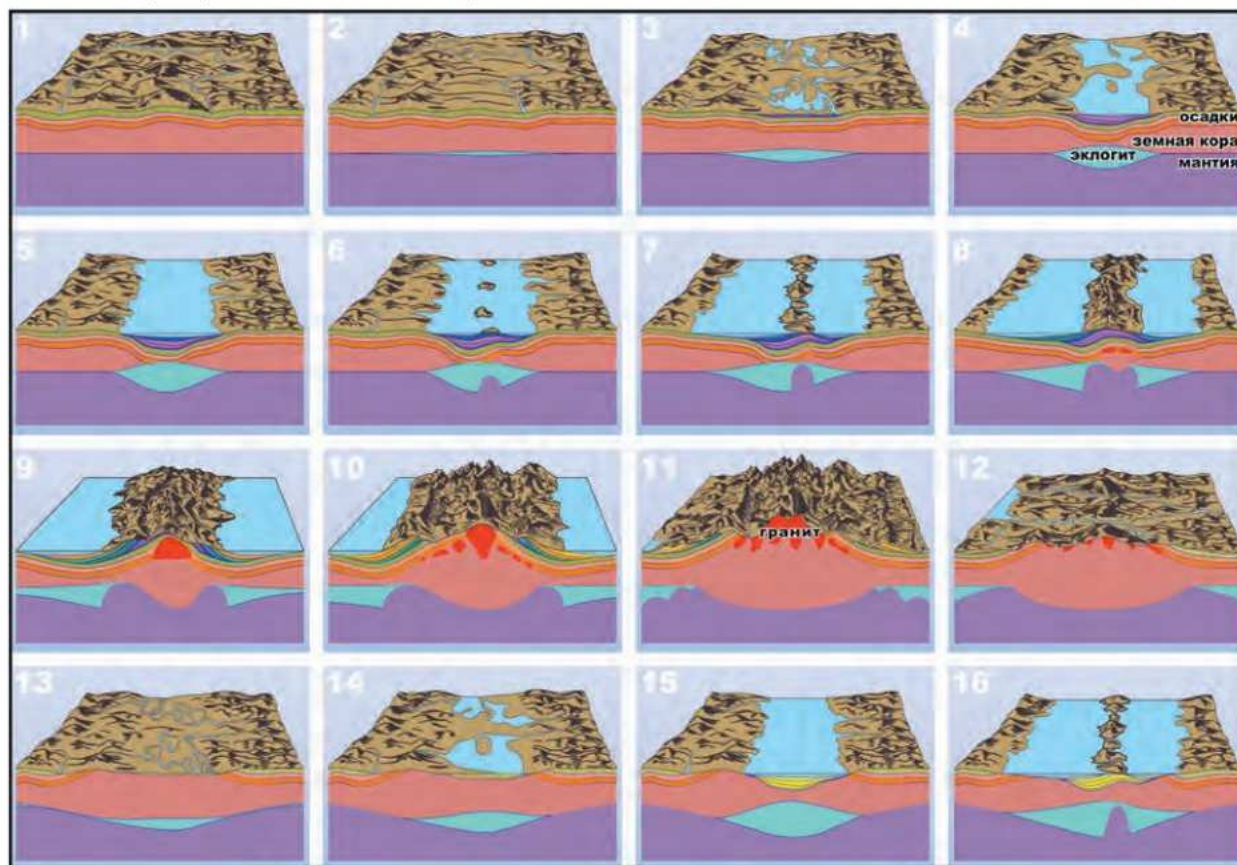
Рис. 5. Эклогитизация и ее связь с прогибанием [22].

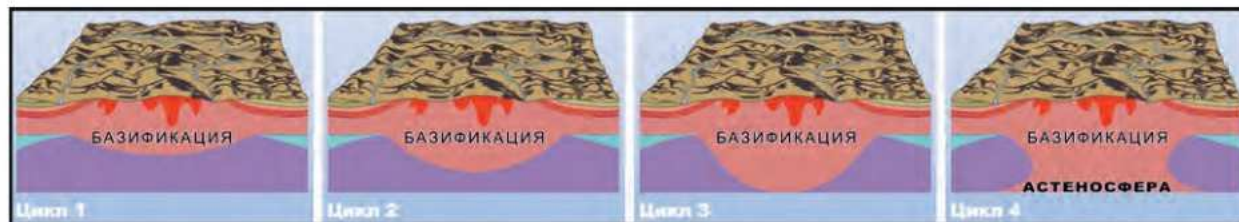


Вызванное снижением давления в недрах декомпрессионное выплавление базальтов из эклогитов и перидотитов, связанный с этим рост температуры запускают метаморфизм и гранитизацию осадочного чехла (рис. 6). При этом, в результате инверсии в краевых частях воздымающегося бассейна, на дневную поверхность выводятся в разной степени изменённые осадки, которые до этого, в депоцентре прогибания непосредственно соприкасались с эклогитами, перидотитами и выплавляющимися из них базальтами. В ассоциации с ними осадочные толщи традиционно определяются как офиолитовые комплексы, ошибочно относимые сегодня большинством исследователей к обнажению древней океанической коры [1], являясь, согласно новым данным, результатом максимальной концентрации континентальной коры.

Неоднократное повторение циклов опускания и воздымания объясняется пластичностью высокоплотного эклогитизированного вещества, которая, помимо раздвоения границы М на сейсморазрезах МОГТ, демонстрирующего продвижение коры и по кровле, и по подошве уплотнённого слоя [23], проявляется увеличенным флюидонасыщением и соответствующим геоэлектрическим минимумом (рис. 2). Вытеснение и перемещение этого вещества вследствие внедрения перидотитов верхней мантии обеспечивает его постоянное перетекание вдоль тектонически расслоенной границы Мохоровичича [5, 20] и концентрацию в синклинальных ловушках, какие представляют собой участки опускания раздела коры и мантии под инверсировавшими и испытывавшими орогенез седиментационными бассейнами (рис. 6).

▼ Рис. 6. Принципиальная схема вертикальных колебательных тектонических движений.





▲ Рис. 7. Принципиальная схема деградации литосферы при углублении базификации в ходе серии геосинклинальных циклов.

Каждый новый цикл эклогитизации углубляет базификацию и приводит к распространению разуплотнения вглубь литосферы, которая, обладая конечной мощностью, после чреды подобных геосинклинальных циклов может полностью деградировать (рис. 7). При попадании эклогитов в сформировавшуюся ранее впадину, они, увеличивая давление, запускают там механизм уплотнения базальтов и эклогитизацию, расширяя прогибание на уровне границы Мохоровичича, которое после вытеснения эклогитов перидотитами, инверсии тектонических движений и декомпрессионного плавления, заполняется базальтами.

Таким образом, и опускание, и воздымание земной коры на начальном этапе определяются термобарическими изменениями в её основании и нарушением равновесия между базальтами и эклогитами, в то время как горизонтальные перемещения литосферных плит осложняют глубинное геологическое строение, формируя преимущественно дизъюнктивно-пликативные надвиговые системы [18]. Тем самым, на стыке представлений фиксизма и мобилизма возникает новая геодинамическая концепция – геосинклинальная тектоника плит [7].

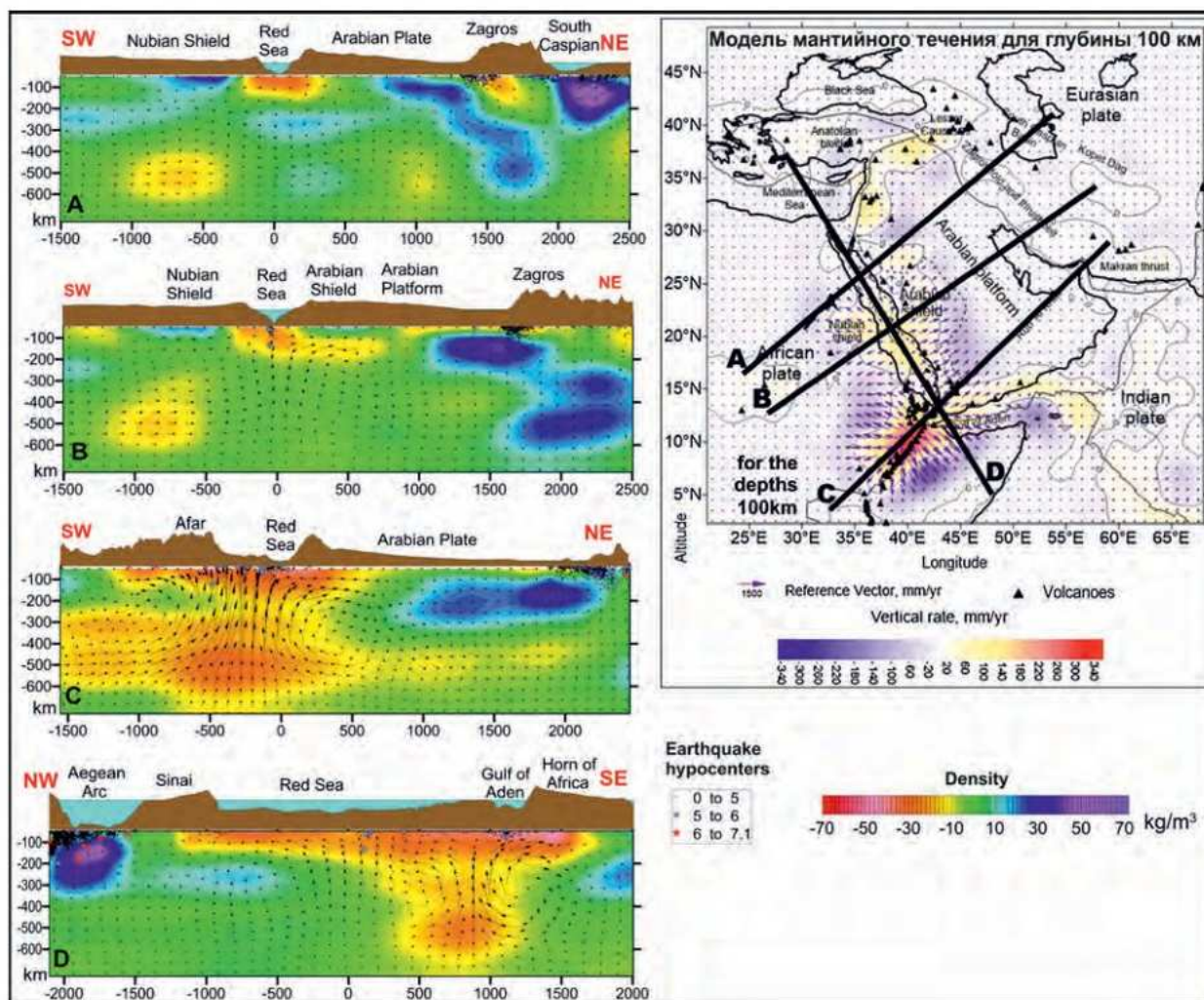
Рифтогенез и рифтогенные бассейны седиментации

Базификация, представляя собой декомпрессионное выплавление базальтов из эклогитов и перидотитов, в итоге обуславливает избыточное давление,

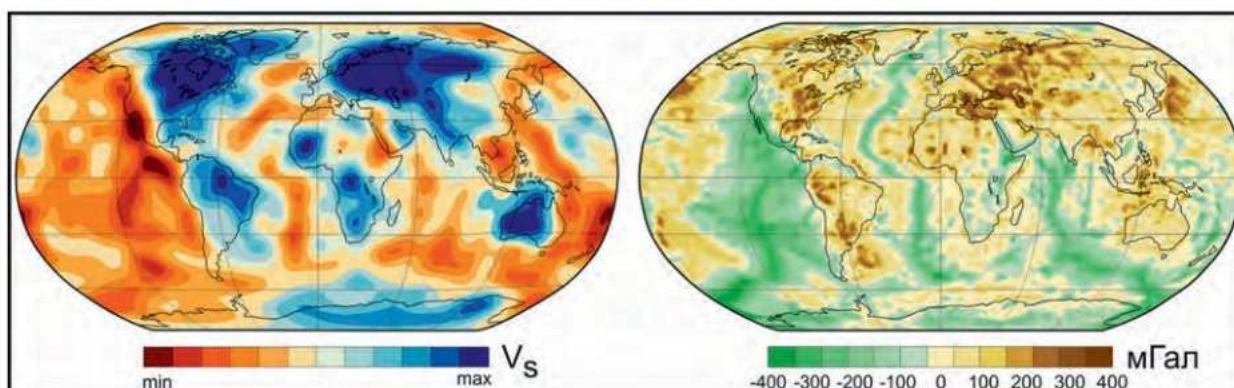
образующееся благодаря резкому увеличению объёма вещества внутри литосферы и направленное преимущественно по латерали и вверх. Углубляясь в ходе геосинклинальных циклов и достигая менее плотной астеносферы, плавление закономерным образом интенсифицируется и инициирует конвекцию – постоянный поток вещества, воздымание разуплотнённого и опускание уплотнённого (рис. 8). В случае превосходства растягивающих напряжений над внешним горизонтальным сжатием, конвекция приводит к рифтогенезу, то есть к полному разрушению земной коры и верхней мантии.

Будучи связан с базификацией литосферы и снижением её плотности, рифтогенез проявляется диаметрально противоположно прогибанию, вызываемому уплотнением. Если маркирующие депрессионный режим эклогитизация и консолидация земной коры повсеместно соотносятся с максимумами силы тяжести и скорости распространения упругих колебаний, то рифтогенная деструкция – с высокоинтенсивными минимумами этих параметров (рис. 9).

С опорой на максимумы гравитационного поля и скорости распространения упругих колебаний можно прогнозировать распространение консолидации в основании всех крупнейших осадочных бассейнов мира. Такому уплотнению литосферы, характерному для континентов, противостоит её разуплотнение, маркируемое минимумами поля силы



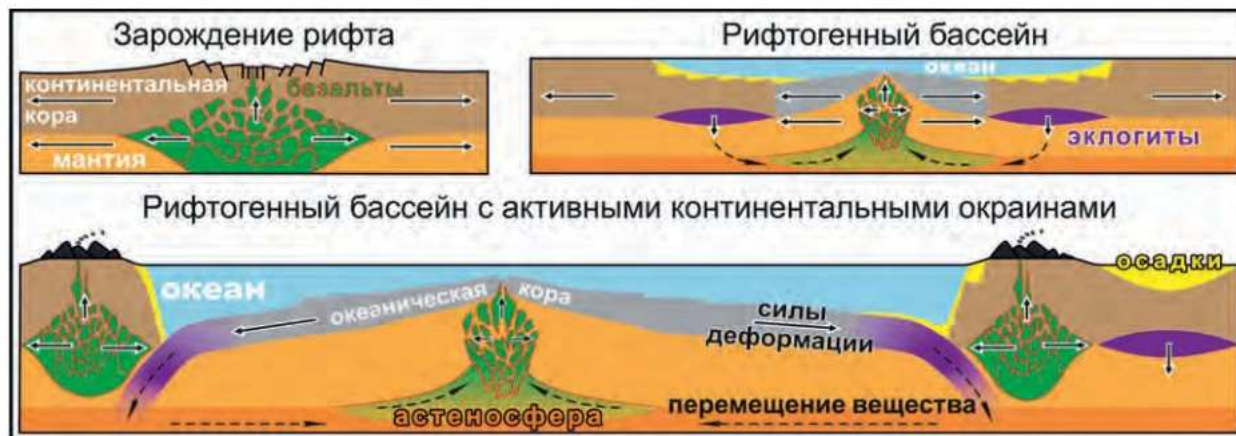
▲ Рис. 8. Направления и относительная величина тангенциальной составляющей скорости мантийного потока (верхний 50-километровый слой исключён) [28].



▲ Рис. 9. Дезинтеграция и консолидация верхней мантии по геофизическим данным [25, 27].

тяжести, интенсивность которых возрастает в направлении расколов талассократонов, что, по-видимому, и демонстрирует обратный процесс – базификацию земной коры и верхней мантии, сопровождающую орогенез и рифтогенез [14].

Вместе с тем, становление рифтогенных бассейнов седиментации также связано с уплотнением, поскольку закономерное возрастание давления в базальтах молодой океанической коры с приближением её к континенту, согласно



▲ Рис. 10. Рифтогенез и связанные с ним седиментационные бассейны.

лабораторным экспериментам (рис. 5), также приводит к эклогитизации (рис. 10). Возникающие симметрично относительно рифтовой структуры эклогитовые тела сопоставимого с ней масштаба обеспечивают опускание и формирование океанских впадин вопреки продолжающемуся становлению срединно-океанических хребтов, связанному с деструкцией литосферы и выплавлением базальтов. При этом эклогитизация на границе континента, предполагая в дальнейшем инверсию образующегося прогиба и становление горной системы, представляет, по сути, процесс континентализации океанических базальтов, то есть она наращивает континент по направлению к расколу талассократона [8, 11].

Ещё одной причиной консолидации литосферы на рубеже континента и океана является перераспределение и перетекание эклогитов под континентом, когда обладающая существенно меньшей мощностью океаническая кора служит естественным препятствием для движения высокоплотных масс вдоль раздела Мохоровичича ввиду его воздымания в сторону океана (рис. 5). Стремящиеся к погружению наиболее плотные для верхней части литосферы эклогиты в этом случае, будучи не способны подняться на 10-20 км вверх по разрезу,

также вынуждены скапливаться вдоль границы континента, обеспечивая вместе с эклогитизацией молодой океанической коры прогибание и появление обширных осадочных бассейнов на шельфе.

Более сложная ситуация в случае активных континентальных окраин, когда современная инверсия древних осадочных бассейнов непосредственно на границе континента, сопровождающаяся соответствующим декомпрессионным выплавлением базальтов, создаёт встречное по отношению к океанической коре давление и препятствует её объединению с континентальными эклогитами. Тогда океанические базальты также уплотняются и эклогитизируются, но в силу более значительного латерального давления со стороны рифта, эклогиты опускаются со смещением в сторону континента, образуя зону субдукции (рис. 10).

Тем самым, эклогитизация и базификация оказываются тесно связаны друг с другом. С одной стороны, эклогитизация порождает базификацию при разрушении уплотнения внедрениями перидотитов в ходе инверсионного изостатического воздымания и декомпрессионного выплавления базальтов. С другой стороны, деструкция и базификация литосферы непременно сопровождаются эклоги-

тизацией, когда вызванное снижением литостатического давления выплавление базальтов в обязательном порядке сопровождается её консолидацией в прилегающих геоблоках (рис. 8, 10). Стало быть, выплавление во многом определяет уплотнение, так как одновременно создаёт и мощный базальтовый слой и давление, что и требуется для появления в разрезе эклогитов согласно лабораторным экспериментам [22].

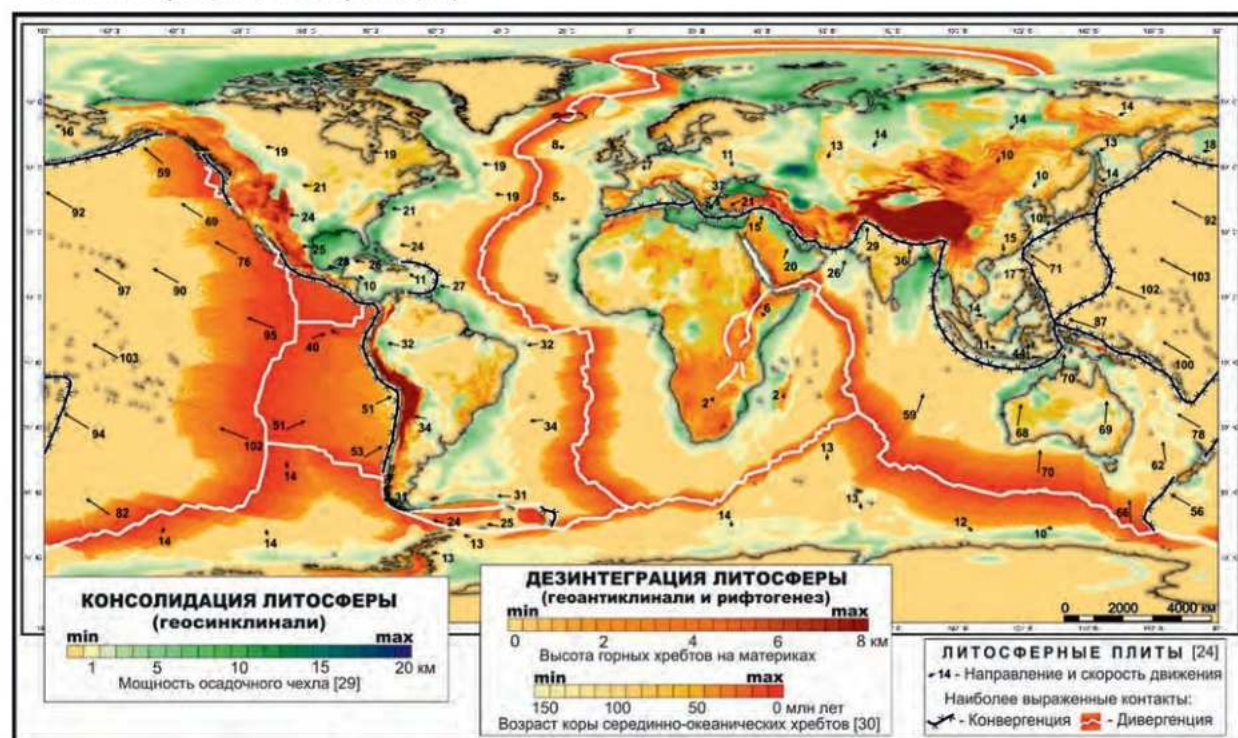
В свете изложенного, для первого приближения литосферу можно представить в виде чередования (противостояния) уплотнения и разуплотнения. Уплотнение предполагает эклогитизацию, консолидацию и континентализацию литосферы, формирование крупных континентальных впадин и заполнение их осадками, а разуплотнение – базификацию, деструкцию, орогенез с размывом осадочного чехла, накопленного на этапе погружения, и рифтогенез, сопровождающиеся соответствующей магма-

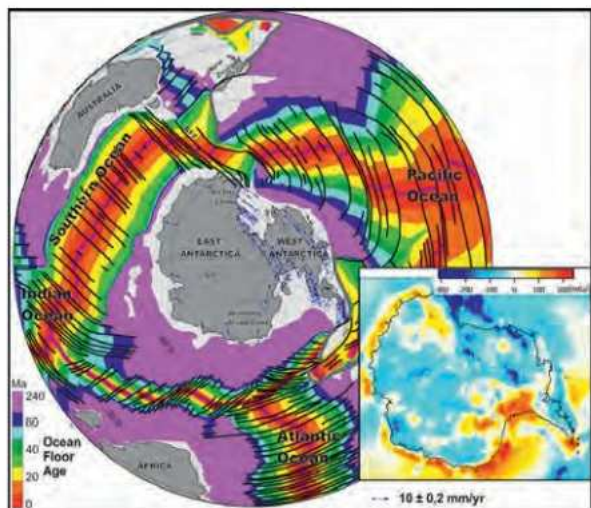
тической активизацией и появлением океанической коры. Следовательно, можно вести речь о, своего рода, круговороте базальтов и эклогитов в литосфере (рис. 10), который охватывает и земную кору, и верхнюю мантию (под океанами и на границах континентальных плит) или концентрируется на уровне раздела Мохоровичича (под континентами – рис. 6), обеспечивая все основные тектонические, магматические и седиментационные процессы.

Новая геодинамика

Сопоставляя деструкцию океанической литосферы с горными сооружениями, маркирующими участки её разуплотнения и разрушения в пределах континентов, и противопоставляя это крупнейшим современным впадинам, маркирующим эклогитизацию и консолидацию земной коры, можно охарактеризовать текущее состояние тектонических колебаний (рис. 11). Характерным признаком

▼ Рис. 11. Современное состояние колебательной тектоники – геосинклинали (эклогитизация, уплотнение и прогибание) и геоантиклинали (орогенез, разуплотнение, дезинтеграция и базификация).





▲ Рис. 12. Возраст океанической коры [31] и гравитационные аномалии [26] на уровне раздела Мохоровичича в Антарктике.

таких колебаний является периодический характер не только во времени, но и в пространстве, когда опускающиеся участки всегда соседствуют с воздымающимися.

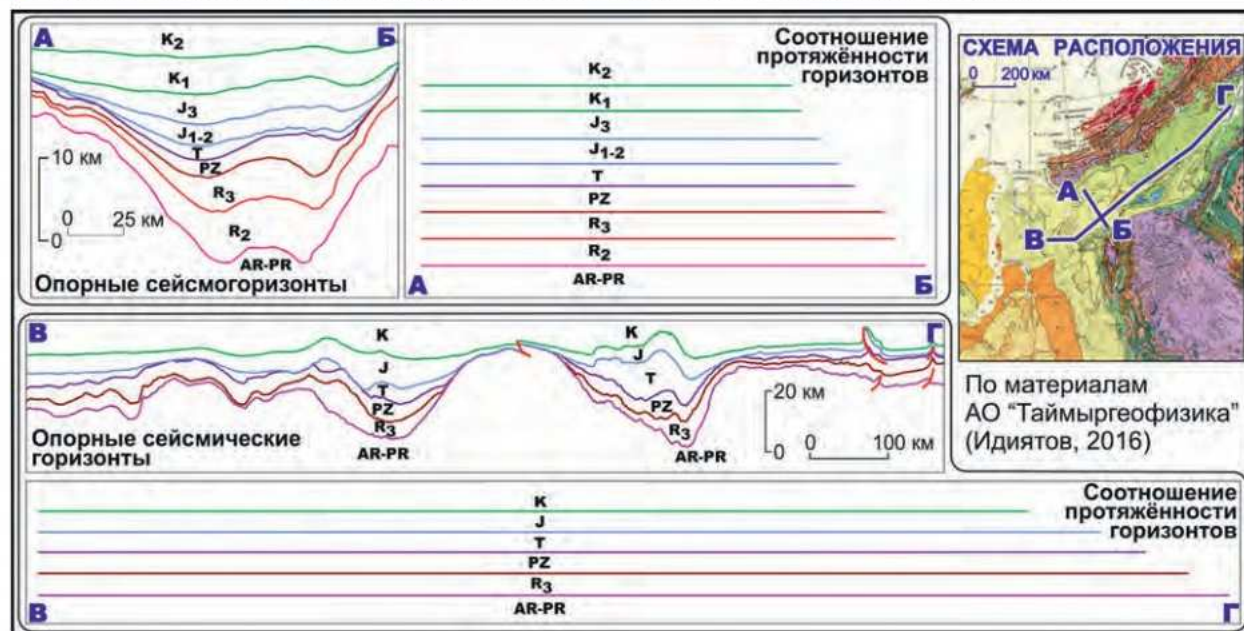
Причём, такое чередование наблюдается и в региональном плане, и в масштабе континентов, каждый из которых окантован своего рода эклогитовой каёмкой, и даже в глобальном масштабе, когда Антарктическому полюсу деструкции и базификации литосферы противос-

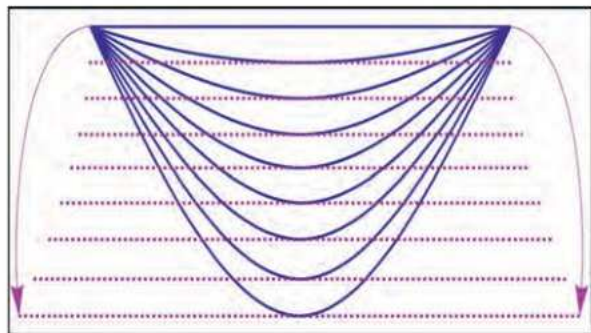
тоит Арктический полюс её консолидации и эклогитизации.

Становление эклогитовой каёмки на краях континентов объясняется, с одной стороны, перераспределением эклогитов под континентом, когда на препятствующей их перетеканию вдоль раздела Мохо границе между континентальной и океанической корой формируется эклогитовый резервуар (рис. 5). Но одновременно,двигающиеся от расколов талассократонов океанические базальты подаются под давлением непосредственно в этот же резервуар, наполняя его, если не в большей степени, то, по крайней мере, не меньше, чем это происходит со стороны континента (рис. 10).

Наиболее ярким примером перераспределения литосферных масс можно считать Антарктиду, где практически всё основание континента подвержено базификации, и эклогиты с его стороны поступать уже не могут, о чём свидетельствует связанный с ним соответствующий единый минимум поля силы тяжести, характерный для рифтогенеза (рис. 12). Тем не менее, от окружающих океа-

▼ Рис. 13. Сжатие седиментационного бассейна Енисей-Хатангского прогиба.





▲ Рис. 14. Схематичная модель осадочного бассейна и сопоставление спрямлённых поверхностей седиментации, демонстрирующие, что каждая более молодая поверхность короче любой более древней вследствие горизонтального сжатия, являющегося одним из основополагающих факторов накопления мощных толщ осадков.

нических рифтов в направлении Антарктиды нагнетается океаническая кора, которая и обеспечивает существование эклогитовой каёмки, фиксируемой как максимумами гравитационного поля, так и осадочными бассейнами, оконтуривающими континент (рис. 11).

Глобальное сжатие

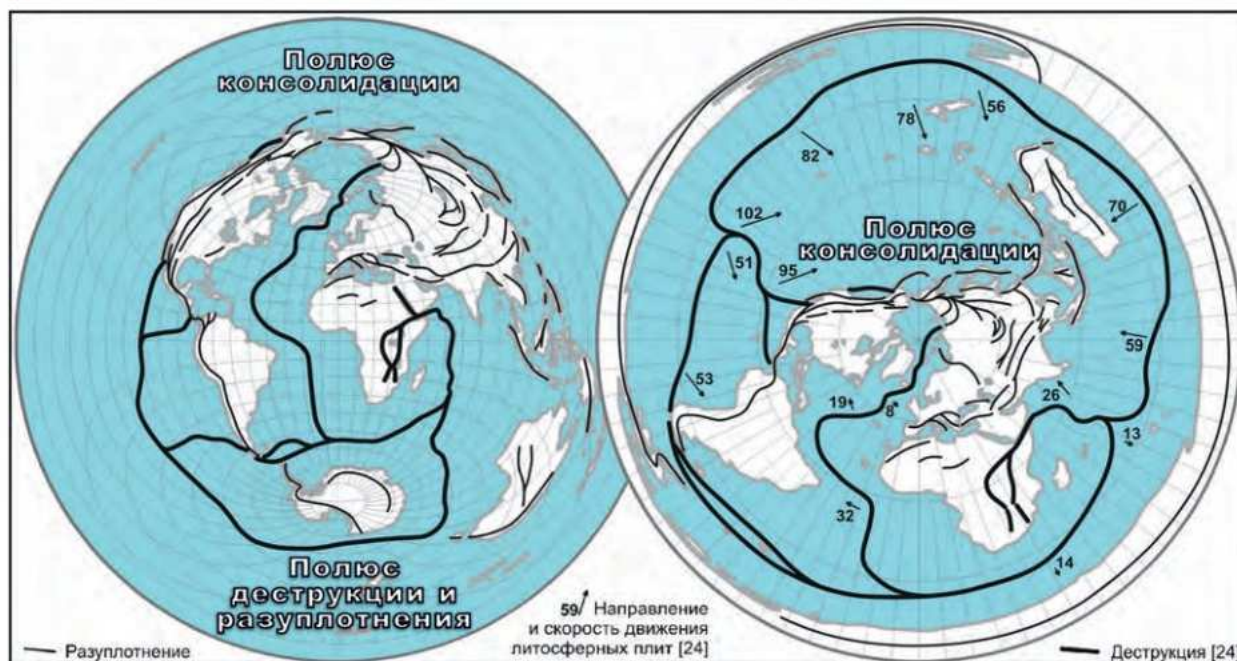
Таким же необходимым условием становления наиболее значимых седиментационных бассейнов, как и эклогитизация, является сжатие. Как оказалось, при рассмотрении осадконакопления в масштабе бассейна в целом каждая более молодая седиментационная поверхность короче любой более древней (рис. 13). Причём, иногда такой

вывод можно сделать не только вкrest простираия основных структурных элементов, но вдоль их простираия, что свидетельствует о формировании осадочного бассейна в перманентных условиях всестороннего сжатия.

В той или иной мере сжатие проявляется во всех крупнейших континентальных впадинах, везде, где изначальное напластование существенно не изменено более молодыми наложенными тектоническими движениями, вследствие влияния надвиговой, сдвиговой или соляной тектоники и т.п., сохраняется тенденция к сокращению седиментационных поверхностей с омоложением [14].

Подобная ситуация объясняется с точки зрения геометрии, поскольку

▼ Рис. 15. Проявление деструкции и консолидации литосферы в её движении.



наблюдаемое в бортовых частях осадочных бассейнов расхождение стратиграфических границ возможно только при увеличении их протяжённости с глубиной (рис. 14). При закреплении современных границ бассейна и непризнании их сближения, придётся полагать, что они с погружением удлиняются, а связанные с ними стратиграфические комплексы растягиваются, что не имеет никакого геологического смысла, так как и мощности осадков, и их плотность возрастают в направлении осевой части прогиба.

Перераспределение литосферы

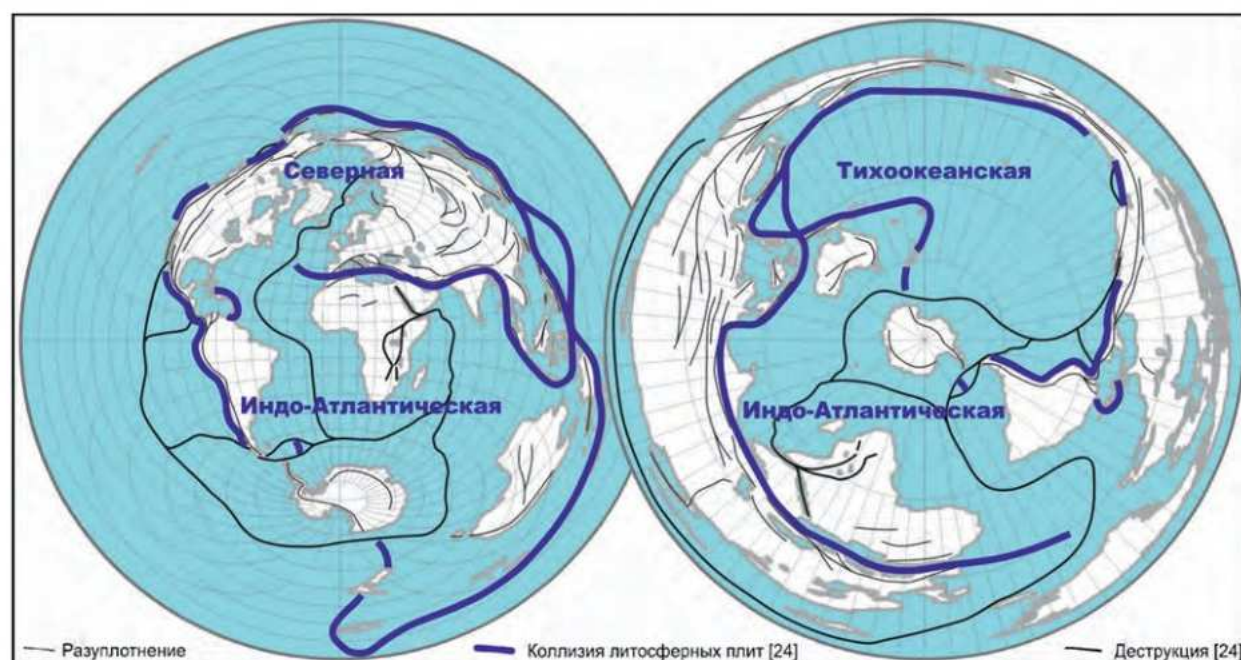
Причина глобального сжатия, преобладающего на всех континентах, за исключением Антарктиды и Африки, кроется в доминировании растяжения литосферы в южном полушарии и движении тектонических плит преимущественно в северном направлении, что в той или иной степени обеспечивает условия сжатия для всех континентов (рис. 15). Вместе с тем, если в Антарктике речь идёт о существовании своего рода полюса деструкции и разуплотнения литосферы,

от которого разуплотнение распространяется в северное полушарие, то в Арктике ему противостоит полюс консолидации, соответствующим образом проявляющий себя процессами концентрации и эклогитизации земной коры (рис. 11).

При сопоставлении конвергентных границ литосферных плит можно сделать вывод о существовании трёх глобальных областей коллизии и сжатия литосферы: Индо-Атлантической, Тихоокеанской и Арктической (рис. 16). Две из них, связанные с южным полушарием и испытывающие разрыв на полюсе деструкции, формируют неполное сжатие, в то время как, третья, Арктическая, обеспечивает практически всесторонний прессинг для охваченных ею континентальных масс.

Всестороннее сжатие Евразийского и Северо-Американского континентов фиксируется седиментацией на протяжении, по крайней мере, последнего миллиарда лет (рис. 13). В этой связи приходится ставить под вопрос широко известные палеорекострукции с обилием террейнов, хаотично перемещающихся и

▼ Рис. 16. Области конвергенции литосферы во взаимодействии с деструктивными зонами.



объединяющихся окончательно в континенты только ближе к мезозою. Напротив, речь может идти о существовании Палеоевразии – единого древнего евразийского континента [19] – и даже единого суперконтинента в северном полушарии [21].

Заключение

Итак, полученные на Таймырском геофизическом полигоне данные продемонстрировали, что прогибание является следствием уплотнения, а воздымание предопределяется разрушением высокоплотного основания депрессий, необходимым условием существования которых служат сжатие и эклогитизация. Наблюдаемое глобальное распространение и взаимосвязь консолидации литосферы, протекающей в коллизионных условиях, и её деструкции в результате плавления и растяжения, проявляет колебательный характер тектоники, показывая, что круговорот базальтов и эклогитов обеспечивает все основные тектонические, магматические, метаморфические и седиментационные процессы. Зарождение синклиналей и антиклиналей, их дальнейшее развитие в условиях сжатия, вызванного давлением, которое создаётся выплавляющимися базальтами, свидетельствуют о сложном комплексном взаимодействии вертикальных (геосинклинальных) и латеральных (плейт-тектонических) движений. Стало быть, становление геологического облика нашей планеты – прогибание, сменяющие его орогенез и рифтогенез, седиментация и размыв осадков, магматическая активизация – зависит от баланса между эклогитом и базальтом, тесно связанного с термобарическим и флюидным равновесием в низах земной коры и в верхней мантии.

Следовательно, подводя итог, можно

констатировать, что совокупность выявленных фактов и вытекающих из них выводов открывает принципиально новый взгляд на глобальную геологию, который в той или иной мере влечёт за собой изменение представлений о фундаментальных основах всех её разделов.

Литература

1. Блюман Б.А. Офиолиты и кора океанов // Региональная геология и металлогения. 2016. № 68. С. 66–72.
2. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.
3. Кушнир Д.Г. Геодинамика полуострова Таймыр по геофизическим данным // Геодинамика и тектонофизика. 2018. № 9. С. 81–92. <https://http://www.gt-crust.ru/jour/article/view/521/358>.
4. Кушнир Д.Г. Гипербазиты как фактор геодинамики по результатам исследований на Таймырском геофизическом полигоне // Актуальные проблемы нефти и газа. 2020. Вып. 2(29). С. 3–27. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-29.art1>.
5. Кушнир Д.Г. Геодинамические предпосылки некомпенсированного осадконакопления. Сборник трудов научно-практической конференции Геокалининград-2021. Калининград. 2021. С. 80–83.
6. Кушнир Д.Г. Формирование норильских медно-никелевых руд в свете новых данных о механизмах магматических процессов на Таймыре. Материалы конференции Геомодель-2021. Москва. 2021. С. 279–282.
7. Кушнир Д.Г. Новая геодинамика: геосинклинальная тектоника плит // Актуальные проблемы нефти и газа. Вып. 3(34) 2021. С. 3–20. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-34.art1>.
8. Кушнир Д.Г. Рифтогенез VS континентализация по данным Таймырского геофизического полигона. ГЕОСОЧИ-2022. Актуальные проблемы геологии и геофизики в нефтегазовой отрасли. Материалы международной научно-практической конференции. Тверь. 2022 Издательство: ПолиПРЕСС. С. 29–32.
9. Кушнир Д.Г. Геосинклиналь – новое понимание по данным Таймырского геофизического полигона. Материалы конференции

Геомодель-2022. Москва. 2022. С. 279-282.

10. Кушнir Д.Г. Региональное соотношение дизъюнктивной и пликтивной тектоники как признак геосинклинали и ключ к пониманию новой геодинамики. Материалы конференции "Геология и геофизика – 2022: наука, производство, инновации". Уфа. 2022. С. 179-185.

11. Кушнir Д.Г. Сверхконсолидированная суперконтинентальная земная кора по данным Таймырского геофизического полигона // Геофизика. 2022. № 4. С. 37-45.

12. Кушнir Д.Г. Сейсмичность геосинклинальных тектонических движений в связи с флюидонасыщением разреза земной коры В сборнике: Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности. Сборник трудов Всероссийской научной конференции. Москва. 2022. С. 455-458.

13. Кушнir Д.Г. Влияние плотностных неоднородностей в низах земной коры на определение положения её подошвы // Геофизика. 2022. № 6. С. 12-17.

14. Кушнir Д.Г. Новое понимание рифтогенеза в свете геосинклинальной тектоники плит. Сборник материалов конференции "Санкт-Петербург 2023. Инновации в геонауках – время открытий". С.-П. 2023. С. 483-488.

15. Кушнir Д.Г. Платформы и подвижные пояса как результат единого цикла колебаний тектоносферы. Труды конференции "Геоевразия-2023". Москва. 2023. С. 70-73.

16. Кушнir Д.Г. Геосинклинальный цикл – современное понимание. Сборник материалов конференции "Геосочи-2023. Актуальные проблемы геологии и геофизики". Тверь. 2023. С. 4-8.

17. Кушнir Д.Г. Структура границы Моховичича как признак механизма деформации земной коры. Материалы конференции "Геомодель 2023". Москва. 2023. С. 374-377.

18. Кушнir Д.Г. Происхождение пликтивных дислокаций осадочного чехла. Материалы конференции "Геомодель 2023". Москва. 2023. С. 378-381.

19. Кушнir Д.Г. Палеоевразия и её современная нефтегазоносность. Материалы конференции "Прогресс-2023". Москва. 2023. С. 200-204.

20. Кушнir Д.Г. Колебания земной коры и её течение. Труды конференции "Геоевразия-2024". Тверь. 2024. С. 200-204

21. Кушнir Д.Г. Палеоевразия и Арктический полюс консолидации литосферы как ядро Гипербореи. Сборник материалов конференции "Геосочи-2024. Новые идеи и технологии разведочной и промысловой геофизик". Тверь. 2024.

22. Рингвуд А.Э., Грин Д.Х. и др. Петрология верхней мантии. Науки о земле. Т. 8. Москва. Мир. 1968. 336. с.

23. Павленкова Н.И. Развитие представлений о сейсмических моделях земной коры // Геофизика, 1996. № 4. С. 11-19.

24. Bird P. An updated digital model of plate boundaries // *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 2003. doi:10.1029/2001GC000252.

25. Carlson R.W., Pearson G., James D.E. Physical, chemical, and chronological characteristics of continental mantle. March 2005 *Reviews of Geophysics* 43(1) DOI:10.1029/2004RG000156.

26. Haeger C., Kaban M.K., Tesauro M., Petrunin A.G., Mooney, W.D. 3-D Density, Thermal, and Compositional Model of the Antarctic Lithosphere and Implications for Its Evolution. *Geochemistry Geophysics Geosystems* (G3). 2019. 20. 2. pp. 688-707. DOI: <http://doi.org/10.1029/2018GC008033>

27. Kaban M.K. Integrative gravity and isostatic models of the lithosphere and upper mantle. The Helmholtz Centre Potsdam – GFZ German Research Centre for Geosciences <https://www.gfz-potsdam.de/en/section/earth-system-modelling/topics/density-structure-of-the-earth/integrative-gravity-and-isostatic-models>.

28. Petrunin A.G., Kaban M.K., El Khrepy S., Al-Arifi N. Mantle Convection Patterns Reveal the Mechanism of the Red Sea Rifting // *Tectonics*. <https://doi.org/10.1029/2019TC005829>.

29. Map of the sedimentary cover thickness // https://vsegei.ru/en/activity/intcooperation/tect_map35M/maps/t4_sedAll.jpg.

30. Muller R.D. Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust // *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 9. 2008. doi:10.1029/2007GC001743.

31. Zanutta A., Negusini M., Vittuari L., Martelli L., Cianfarra P., Salvini F., Mancini F., Sterzai P., Dubbini M. and Capra A. New Geodetic and Gravimetric Maps to Infer Geodynamics of Antarctica with Insights on Victoria Land // *Remote Sens*. 2018, 10, 1608. doi:10.3390/rs10101608